雙月刊

核能簡訊

NUCLEAR NEWSLETTER

NO. 174

2018 OCTOBER

能源轉型 有哪些出路？



核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER
NO. 174
2018.10 雙月刊

編者的話

全球暖化日益嚴重，各地夏季高溫天數不斷增加，且持續打破最高溫紀錄，可明顯感受到極端氣候的現象有增無減。9月11日，北半球竟同時出現了9個颱風、颶風和熱帶氣旋。像這種不尋常的極端氣候勢將成為常態，全球脫離化石能源策略，增加可再生能源與維持核能規模的腳步勢必要加快。

而那些仰賴化石燃料生產與出口的經濟體，像是海灣國家、俄羅斯、澳洲、加拿大、印尼等，有些國家已從石油賺來的經濟利益，大量投入新能源研究應用的領域，例如沙烏地阿拉伯政府，考慮創立本地的光電板製造廠，並計畫與法國、中國及南韓協議，在2030年前建造16座核反應爐。另外，有些化石燃料輸出國的天然環境也很適合發展可再生能源，如海灣國家可以發展太陽能，加拿大可發展風力及水力發電。

放眼全世界，各國能源政策中只有德國和台灣主張非核。9月18日一場「台德核能對話─德國巴登符騰堡邦核能除役35年經驗與能力」研討會中，與會的德國核能專家不斷強調，台灣與德國有很多相似之處，包括同樣因非核的能源政策，而面臨學生無意願就讀核工科系，也聘僱不到核能工程師。EnBW電力公司主管表示：「但若我們在面試時保證，未來會安排核能部門的從業人員轉職到其他部門繼續工作，還是可以招得到人。」這意味著核能這種高端科技的研發與應用在此宣告終結，未來德國與台灣若需重啟核電，國內人才與產業供應鏈也將無以為繼。

除了同樣主張非核之外，德國與台灣之間其實差異甚遠。德國地大物博，適合推動風力、太陽能，且與歐洲電網相連結，可互通有無；台灣地狹人稠、山地多平原少，可再生能源的用地不足，自產能源少得可憐，又屬孤島型電網，電力供應必需自力救濟。德國與台灣之間存在著如此巨大的差異，但是我們選擇的卻是同一條道路，德國能，我們真的能嗎？

能源轉型看似簡單、說得容易，背後還必須解決能源生產、供應的瓶頸，忍受國際地緣政治與能源價格的影響，更須顧全長期人才培育，宏觀性的產業供應鏈等種種因素。這些都會使能源轉型的過程，比過度樂觀的預言者想像得更慢，更困難，甚至代價更高昂。我們需要更務實地準備好，以面對各種挑戰。

目 錄

出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一〇一號
電　　話：（03）571-1808
傳　　真：（03）572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
電子郵件：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：朱鐵吉

主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、翁明琪、林庭安
執　　編：長榮國際　文化事業本部
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：台北市民生東路二段 166 號 6 樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠

非核家園推動小組 運作情形與議案報導

文 編輯室

行政院於 2017 年 1 月 11 日通過電業法修正，明訂我國所有核能發電機組必須在 2025 年前全部終止運轉，落實「2025 非核家園」的政策。為了達成這個目標，行政院國家永續發展委員會在 2016 年 11 月初成立了「非核家園推動專案小組」，成為政府機關與民間組織之間溝通協調的平台，以利各界意見蒐集、凝聚全民非核共識，並彰顯政府決策透明的過程。

我國共有 4 座核電廠，分別為核一、二、三、四廠，每部電廠各有兩部機組，扣除從未啟用的核四廠，核一、二、三廠最晚停止運轉日期，以運轉執照 40 年有效期限來計算，分別落在 2019、2023 及 2025 年。

根據《核子反應器設施管制法》的規定，核能電廠需在停止運轉日期的 3 年前提出除役計畫，經行政院原子能委員會（以下簡稱原能會）審核通過、頒發除役許可後，於 25 年內完成除役作業。以核一廠 1 號機為例，運轉年限為今年 12 月 5 日，電廠營運廠商台灣電力公司則應於 2015 年 12 月 5 日前向原能會提出核一廠 1 號機的除役計畫，並於 2043 年底前完成該部機組的除役。而核一廠也於 2015 年 11 月 24 日向原能會提出 1 號機的除役計畫，並於 2017 年 6 月 28 日獲原能會審查通過，目前進入二階段環評，若順利的話應可於今年底獲頒除役許可。

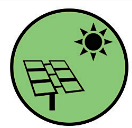
2025 非核家園

目前在核一、二、三廠 6 部機組中，核三廠 2 號機的運轉年限為最晚（2025 年 5 月 17 日），若以「核三廠 2 號機達到運轉年限後如期除役」來計算，我國可於 2025 年達到 6 部機組均除役的狀態，「2025 非核家園」也由此而生。

根據蔡英文總統公布於臉書（Facebook）的 2025 非核家園計畫說明，「全球 564 座曾經或正處於運轉狀態的核電機組，其中有 6 座發生過毀損事故，機率超過 1%。而且核災問題不是看發生的機率，是看如果發生我國是否承受得起。日本與台灣都位處地震帶上，發生於日本的事故也有可能在台灣發生，一旦台灣核一、二、四廠發生事故，30 公里內必須疏散數百萬人，是一項不可能執行的應變計畫，再加上首都癱瘓造成國家運作停擺的危險、污染造成人民健康與貿易經濟的損失、災後復原的龐大支出等，代價實在太大」，因此決定要廢除核能發電。

若台灣能在 2025 年擺脫對核能發電的依賴，核一、二、三廠可以按時除役，核四廠也就不需要啟用；未來將使用「火力發電」以及「再生能源發電」來填補廢除核能發電所產生的缺口，2025 年的能源配比將由 30% 的燃煤、50% 的燃氣以及 20% 的再生能源組成。因此，「2025 非核家園計畫」不僅僅是「非核」，還是透過尋找替代能源、提升發電效率、節約能源、產業結構調整與電業自由化，來達到讓台灣在 2025 年不需要依賴核能發電的一項「能源轉型」計畫。

■ 於2025年達成20-30-50潔淨能源發電結構與非核家園願景



再生能源發電量占比達20%



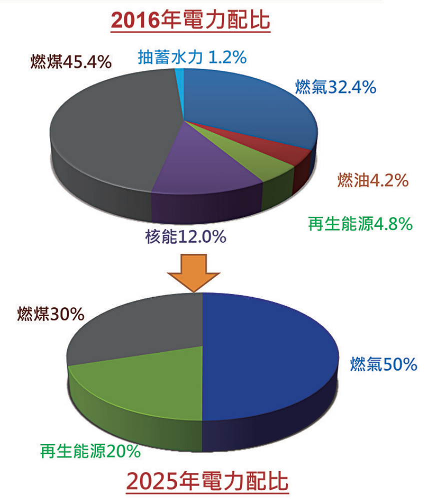
燃煤發電量占比降至30%



低碳天然氣發電量占比達50%



既有核電廠不延役核四廢止



經濟部「2025 年非核家園」電力結構與願景 (圖片來源 : 經濟部)

新能源政策期望能達到「兼顧在能源安全、環境永續以及綠色經濟發展均衡下，建構安全穩定、效率以及潔淨能源供需體系，創造永續價值，於 2025 年達成非核家園目標」的願景，而行政院國家永續發展委員會所成立的「非核家園推動專案小組」（以下簡稱專案小組）也因此而成立。

非核家園推動專案小組架構與運作方式

根據行政院國家永續發展委員會的《非核家園推動專案小組運作要點》顯示，其所負責研究、協調以及推動之項目如下：

1. 放射性廢棄物處理、貯存及處置。
2. 核電廠除役。
3. 核電廠附近居民健康及流行病學調查。
4. 蘭嶼低放射性廢棄物貯存場遷場。
5. 核四廢止。
6. 社會除役。
7. 核能發電後端營運基金運用。
8. 敦親睦鄰機制活化。
9. 教育宣導。
10. 籌設行政法人放射性廢棄物管理中心。
11. 其他涉及非核家園議題。

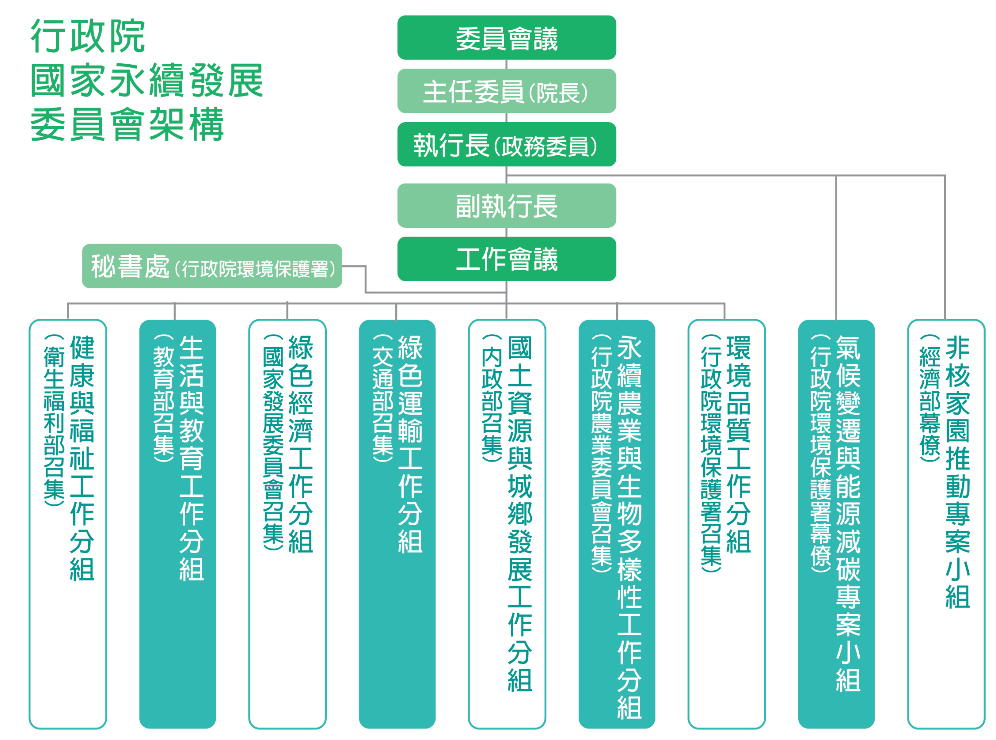
根據《非核家園推動專案小組運作要點》中成員組成的部分，小組召集人由行政院國家永續發展委員會執行長兼任；副召集人 2

人，由經濟部業務主管次長與諮詢委員互選 1 人兼任；其餘成員，機關代表 8 人，諮詢委員 14 人，國家永續發展委員會若干人，由召集人就下列人員聘（兼）之：

1. **機關代表**：原能會業務主管副主任委員、原住民族委員會業務主管副主任委員、行政院環境保護署業務主管副署長，以及內政部、教育部、交通部、衛生福利部、行政院農業委員會業務單位主管。
2. **諮詢委員**：專家學者、民間團體代表或在地住民代表。
3. **行政院國家永續發展委員會委員**：由國家永續發展委員會秘書處提公名單。

第 2 項委員的任期為 2 年，期滿得續聘，但召集人異動時，得改聘。第 1、3 項的機關代表及委員，其任期隨職務異動而改聘。

另外，專案小組原則上每兩個月開一次會，必要時需召開臨時會議。會議由召集人主持，若召集人不克出席時則由副召集人主持，並視需要邀請相關機關（構）或社會人士出席進行說明。專案小組的幕僚作業由經濟部辦理，運作經費則是由經濟部的「核能發電後端營運基金」來支應。



非核家園推動專案小組（右）於行政院國發會架構下之位置圖。
（圖片來源：行政院國家永續發展委員會全球資訊網）

小組會議簡報內容

目前，專案小組已分別於 2017 年 5 月 3 日、10 月 12 日以及今（2018）年 1 月 22 日召開了第 1、2、3 次會議，民眾均可上經濟部國營事業委員會網站下載會議簡報與會議紀錄，也可以上行政院國家永續發展委員會非核家園專案小組臉書觀看會議影片，了解專案小組的運作情形。

前兩次會議所公開的台灣電力公司簡報，主題放在我國用過核燃料處置與乾式貯存設施建立的現況，講述我國放射性廢棄物最新的貯存情形、乾式貯存設施興建概況、除役時程以及目前所面臨到的挑戰等。

我國目前低放廢棄物經過焚燒、壓縮或水泥固化後裝於 55 加侖鍍鋅鋼桶內，暫存於各核電廠放射性廢棄物貯存庫或蘭嶼貯存場。但由於目前的貯存容量不足，除役時會先在各電廠建立新的放射性廢棄物貯存庫，待我國首座低放廢棄物最終處置場興建完成後再遷出至最終處置場。

在會議簡報中也提到，於 2012 年 7 月公告的 2 處低放射性廢棄物最終處置建議候選場址烏坵鄉（金門）、達仁鄉（台東），經濟部已於 2012 年 8 月以及 2016 年 5 月二度函請地方政府配合辦理公投選址作業，但都因地方政府婉拒辦理公投，無法推動後續的工作。蔡英文總統在 2016 年 8 月參訪蘭嶼時表示，非核家園計畫將會把「蘭嶼核廢料遷出」列為最優先處理之項目之一，但存放於蘭嶼貯存場的低放廢棄物也因低放選址公投卡關，至今仍無法遷出。在無法運回原產地且處置場址公投無法進行的情況下，則需為低放廢棄物另尋妥善的去處，處置場址



我國各核電廠停止運轉年限

核一廠	1號機：2018年12月05日 2號機：2019年07月15日
核二廠	1號機：2021年12月27日 2號機：2023年03月14日
核三廠	1號機：2024年07月26日 2號機：2025年05月17日

我國低放射性廢棄物目前貯存情況（截至 2017 年 4 月）					
電廠/貯存場	貯存容量(桶)	運轉廢棄物預估量(桶)(1)	除役廢棄物預估量(桶)(2)	廢棄物總預估量(桶)(1+2)	不足量(桶)
核一廠	103,904	49,313	61,791	111,104	7,200
核二廠	95,421	63,635	96,803	160,438	65,107
核三廠	40,600	10,553	144,552	155,105	114,505
蘭嶼貯存場	100,277	100,277	11,000	111,277	11,000
總和	340,202	223,778	314,146	537,924	197,722

圖表來源：台灣電力公司

公投若持續卡關也須考量是否有需要替選址條例進行修法。

除了低放射性廢棄物，我國因未採用用過核燃料再處理，高放射性廢棄物僅有用過核燃料，而根據我國用過核燃料營運管理流程，燃料束在退出反應爐後會暫時貯存在電廠的用過核燃料池內，至除役時轉移到乾式貯存設施，之後再轉移到地下的深層地質處置場進行最終處置。

根據台灣電力公司的數據顯示，目前核一、二廠的用過核燃料池均已接近貯滿的狀態，除役的時間也迫在眉睫，但因核一、二廠第一期乾式貯存設施，分別因水土保持完工證明書及逕流廢水污染削減計畫，尚未獲得新北市政府核准，即使核一的乾貯設施已獲得原能會審查通過，至今仍無法啟用。

根據原子能委員會放射性物料管理局 2017 年 3 月發布的新聞稿，雖然第一期乾式貯存設施的混凝土桶符合安全規範，但因其為露天的「室外」乾式貯存設施，有許多民眾與環保團體仍認為不夠安全，已多次要求採用「室內」乾式貯存。台電公司自 2016 年 3 月起，已多次對外宣布第二期乾式貯存設施將採用室內貯存的形式；前行政院長林全於 2016 年 9 月初出席北海岸鄉親座談會議時指示，會請經濟部督促台電提出室內乾式貯存設施的計畫；原能會物管局於同年 9 月 13 日要求台電公司，依照「室內貯存方式」修正核一廠除役計畫，但並未因此撤銷第一期乾貯設施的建設執照。

目前，兩座電廠的第二期乾式貯存設施仍在規劃當中，第一期的設施未來若獲准營運僅會做少量、短期的使用，待第二期室內乾式貯存設施完成後，即會把存於第一期的部分移入第二期內。

另外，台電公司也就用過核燃料在反應爐內、在用過核燃料池內、在乾式貯存場內貯存的風險、時程與費用，做出詳細的優缺點比較，解釋使用乾式貯存設施貯存用過核燃料，除了面臨的風險在三種貯存方式內屬最低之外，也是其中唯一可以在 25 年內完成

我國高放射性廢棄物(用過核燃料)目前貯存情況(截至 2017 年 4 月)			
電廠/機組	用過核燃料貯存池設計容量(束)	已貯存容量(束)	因燃料池容量不足預估機組停轉日期
核一廠 1 號機	3,083	3,074	目前停機中，機組若啟動可運轉 450 天
核一廠 2 號機	3,083	3,076	2017 年 6 月
核二廠 1 號機	4,398+440	4,365	因格架擴充 440 格，可運轉至 2020 年底
核二廠 2 號機	4,398	4,388	目前停機中，機組若啟動可運轉 390 天
核三廠 1 號機	2,160	1,452	可使用至電廠除役(2024 年)
核三廠 2 號機	2,160	1,407	可使用至電廠除役(2025 年)

圖表來源:台灣電力公司

除役作業的貯存方式，每年所需要的維護費用亦是其中最低。

台電公司表示，用過核燃料的乾式貯存為執行除役作業中非常關鍵的設施，若運轉執照到期後，爐心內的燃料無法順利移出進行乾式貯存，將無法切割用過核燃料池，也無法拆除外圍廠房，嚴重影響後續除役作業的進行，除了無法在 25 年的期限內完成除役，每延後 1 年完成除役，甚至需要增加 15-20 億的除役費用。

第 3 次會議簡報則是由原能會與經濟部國營會，分別講述「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例之修法芻議」與「非核家園推動專案小組——第 3 次會議 4 次會前會諮詢委員針對議題之共識與結論」。

根據此次原能會簡報內容顯示，早期為加速推動低放射性廢棄物的最終處置，因此制定了《低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例》（以下簡稱選址條例），並於 2006 年 5 月底公布實行。選址條例中明定原能會為主管機關，經濟部為主辦機關，並授權經濟部邀請相關代表及 3/5 以上專家學者組成「場址選擇小組」執行選址工作，以及指定選址作業者（即台電公司）協助選址小組進行場址調查、安全分析及公眾溝通等工作。

該選址條例一共有 21 條，除了上述之權責與場址選擇外，條例內容也涉及民主自決（公投）、回饋金、過程公開透明、處置設施場址經費來源等。但由於經濟部在執行選址作業過程中面臨多項困難，在 2010 年 3 月時向原能會致函，就選址關鍵條款提出修正需求，原能會也因此籌組選址條例研修小組，並多次召開會議討論、徵詢民眾意見，於 2011 年 3 月底完成選址條例修正草案。

根據《原能會對低放廢棄物最終處置選址條例修法說明》第四條：「選址條例修正草案重點包含了：主管機關修正為經濟部、刪除遴選兩個以上建議候選場址之規定、增列選址計畫修正之規定、自願場址條款之修正、選址公投條款之修正、選址公投條款之

修正、增訂場址調查評估之獎勵規定，以及因應直轄市改制及政府組改之修正等。」不過，在原能會完成選址條列修正草案後，經濟部對公投條文仍有意見，一直到 2017 年底經濟部才函送原能會建議修正條文，目前由原能會委員會議審議中，待審議完後將送至行政院與立法院。

至於高放射性廢棄物處置設施的選址，整個時程分成 5 個階段，分別為：潛在處置母岩特性調查與評估階段（2005-2017 年）、候選場址評選與核定階段（2018-2028 年）、場址詳細調查與試驗階段（2029-2038 年）、處置場設計與安全分析評估階段（2039-2044 年）與處置場建造階段（2045-2055 年），預計於 2055 年啟用高放廢棄物最終處置場。

這 5 階段中的第 1 階段並不涉及場址評選，但今（2018）年進入第 2 階段後，將陸續開始進行選址相關作業。原能會建議，需儘早完成高放選址條例之立法，才可完善高放選址作業的法治基礎，經濟部於 2017 年函送原能會的低放選址條例修法建議條文也可適用於高放選址，以利高放廢棄物後續的選址作業。

此外，由於國人對放射性廢棄物具有一定程度的安全疑慮，加上台灣電力公司身為核能發電經營者，身兼放射性廢棄物處置的業務難以獲得民眾信賴，以致低放射性廢棄物與用過核子燃料最終處置計畫至今仍身陷困境。經濟部對此提出「行政法人放射性廢棄物管理中心設置條例」草案，期望能透過成立專責機構來管理與處置我國放射性



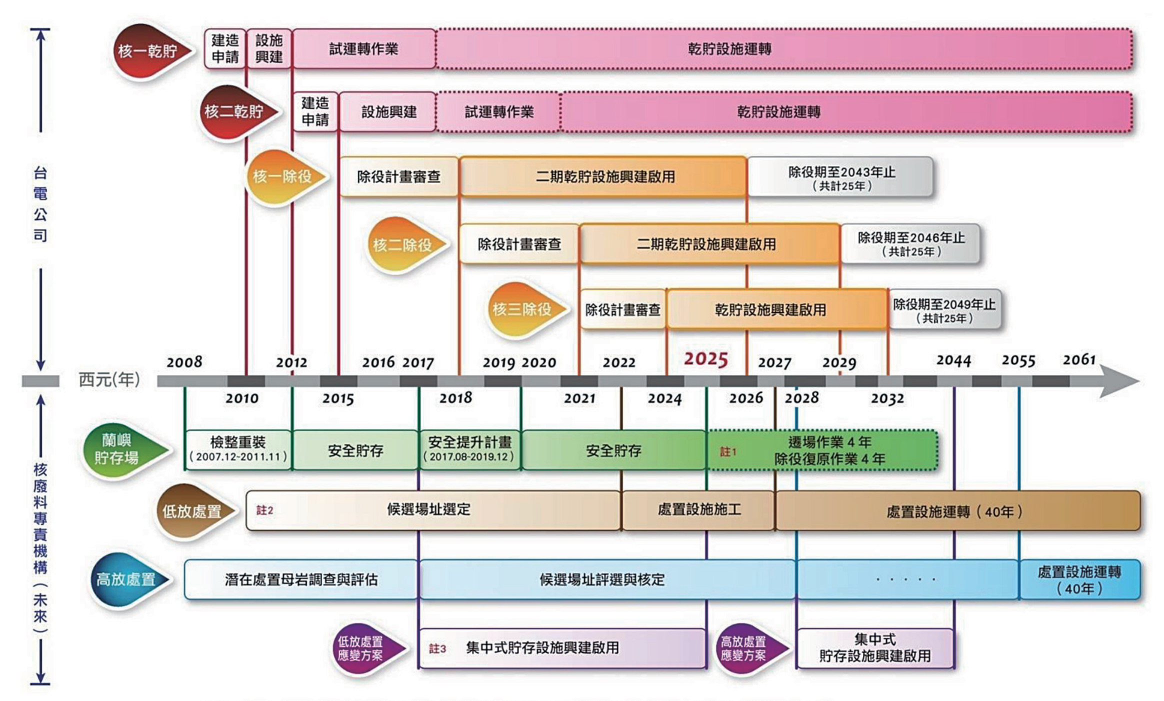
核一廠第一期室外乾式貯存設施已完工並通過原能會審查(圖片來源:台灣電力公司)

廢棄物，以及負責放射性廢棄物貯存設施及最終處置設施選址之執行，其主管機關也屬經濟部，以達到「選址條例、專責機構與後端基金主管機關一致」的狀態。該草案已於 2016 年 11 月 18 日送請立法院審查，並被列為立法院優先審議法案。

另一方面，國營會的簡報則涉及核能後端基金費用估算及管理改革、核四後續處理等議題。在此次會議召開前已分別召開了 4 次會前會，討論的內容涵蓋了後端基金的運作機制、核電除役地方參與機制、核四廠燃料處理規劃、核廢處理相關法規修正、專責機構成立草案說明等議題。

為籌措核電廠除役與放射性廢棄物最終處置等所需要的資金，我國設有核能發電後端營運基金（以下簡稱後端基金），主要為我國放射性廢棄物的處理、運輸、貯存與最終處置等費用的資金來源。根據經濟部「核能發電後端營運基金費用收取辦法」，負責的機構應每 5 年重新估算一次後端營運的總費用，並提交至經濟部進行核定；在期間內若遇到重大異動也需適時重新估算。

根據國營會此次簡報，以現有 6 部機組、



我國核電廠除役及放射性廢棄物重要議題時程(圖片來源:原能會物管局)



2025 非核家園 (圖片來源 : 經濟部臉書)

運轉年限 40 年，以及高、低放射性廢棄物均採用境內處置來估算，最新一次的後端營運估算值約需要 4,700 餘億元，與德國、瑞典、芬蘭等國家之最新除役費用並無太大差異。與上一次（2011 年）的 3,353 億元的差異主要是新增了「室內乾式貯存設施」與「中期集中式貯存設施」。截至 2017 年 12 月底，後端基金累計淨值已接近 3,400 億元，待經濟部正式核定最新一次的估算報告後，台電公司將會採取逐年平均分攤固定金額的方式，於 2025 年足額提列至後端基金。

有關我國從未啟用的核四廠，考慮到北台灣的電力需求、北部可供興建的電廠均將於 2026 年開發完成，加上核四廠已完成相關設施的建設，經濟部希望保留核四廠址，以

供未來建設電力相關設施，目前規劃朝「多功能綜合電力設施園區」的方向進行轉型，並將優先設置再生能源發電設備。

而核四廠的兩部機組未來將以「降低資產減損損失」為目標，除了持續去化庫存的材料，1 號機將採整部輸出至國外的方案，2 號機因施工並未完成，可拆除設備均已拆除，將優先對外出售 2 號機的設備。廠內的核燃料不報廢，將送至國外進行拆解，尋求轉售的機會。

在專案小組會議中每位小組諮詢委員以及國家永續發展委員會委員，都可對簡報提出自身的意見與質疑，各機關委員也會就相關議題作出澄清或解釋，再由主席（專案小組召集人）作出裁示。列席的多位機關委員與代表，除了來自原能會，還有原住民族委員會、行政院環保署、行政院農業委員會、行政院經濟能源農業處、行政院交通環境資源處、行政院能源及減碳辦公室、內政部、經濟部、交通部、教育部、衛生福利部、經濟部國營事業委員會、台灣電力公司等。

結語

電業法三讀通過，代表「2025 非核家園」已是無法扭轉的事實，未來核電廠能否順利如期除役、核電廠的除役如何安全地進行、放射性廢棄物又該如何處理等議題，最終所採納的方案必須是對民眾影響最低的，同時也是能讓多數人感到滿意的辦法。身兼非核家園推動專案小組召集人的行政院政務委員張景森，在首次小組會議致詞時說到，如何妥善地處理放射性廢棄物，是推動非核家園政策中最棘手的問題。因此，放射性廢棄物的處理方式必須公開透明，以建立民眾信任、凝聚社會共識，找出最合適的解決方案搭配配套措施，共同努力，才可達成 2025 非核家園的政策目標。

其次，核一、二、三廠陸續除役所造成的電力缺口該如何補足，未來該如何度過能源轉型的過渡期，廢核是否會導致備轉容量不足因而跳電，過度的節電是否將影響到國家經濟發展等議題，政府都需要有一個全面、完善的規劃，才可讓非核家園帶來的衝擊與傷害都降到最低。



資料來源：
1. 臉書‧經濟部
2. 臉書‧蔡英文：2025 年達成非核家園
3. 經濟部《核能發電後端營運基金費用收取辦法》
4. 行政院國家永續發展委員會《非核家園推動專案小組運作要點》
5. 經濟部國營事業委員會《行政院國家永續發展委員會非核家園推動專案小組—專案小組第一、二、三次會議簡報》
6. 經濟部國營事業委員會《行政院國家永續發展委員會非核家園推動專案小組—專案小組第一、二、三次會議紀錄》
7. 行政院原子能委員會《原能會認同民間團體積極面對核廢處理之需求》



氫—未來的潛力能源

能源轉型有哪些出路？
— 新能源透視鏡

文 編輯室

極端氣候將成常態

在推特分享氣象資訊的「亞買加天氣 Jamaica Weather」，2018 年 9 月 11 日有一張驚人的氣象圖，顯示北半球同時出現了 9 個颱風、颶風和熱帶氣旋，其中包括影響我國的山竹颱風和威脅美國東岸的佛羅倫斯颶風，在網路上引發熱議。氣象科學研究人員表示，太平洋和大西洋同時出現這麼多的風暴蠢動，是很不尋常的現象。

全球暖化日益嚴重，不尋常的極端氣候勢將成為常態，各國政府以各種因應措施、投入大量資源，期盼能早日遏止這匹脫韁野

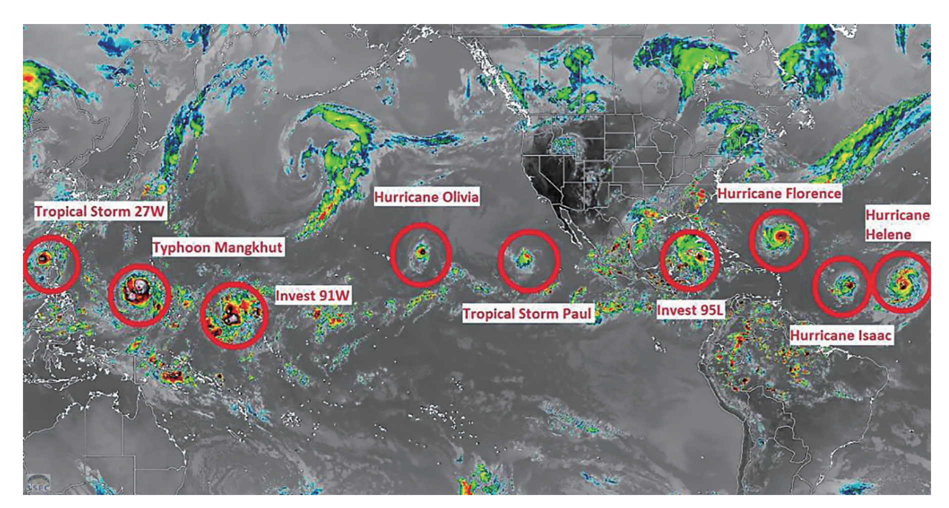


圖 1. 2018 年 9 月 11 日北半球出現 9 個颱風、颶風和熱帶氣旋，與全球暖化脫不了關係。(圖片來源：Jamaica Weather 推特 twitter.com/jamaicaweather)

馬，製造大量溫室氣體的能源生產方式，成為各國政府檢討改進的頭號對象。

能源轉型勢在必行

由於我國自產能源嚴重不足，將近 98% 的能源需仰賴進口，近年來對國際能源市場的依賴程度越來越高。但是，國際貿易存在著很多的不確定因素，國際能源價格有可能隨著國際和平環境的改善而趨於穩定，但也有可能隨著國際局勢的動盪而波動。國際石油市場的不穩定以及油價波動，都嚴重影響著我國的石油供給，對經濟社會造成很大的衝擊。

除了能源價格掌握在國際賣家手上之外，我國的能源運輸安全也受到外在因素的箝制。身處於海島上，我們的能源運輸仰賴船運至深，每逢颱風旺季的夏季時，只要台灣附近連續生成兩個颱風，船隻即無法入港卸運。我國的天然氣安全貯存量約只有 14 天，將立刻出現缺氣危機，恐怕再度發生「815 大停電」的風險。因此，增加我國自產能源比例是極度重要的國安議題。

發展可再生能源可相對減少我國能源需求中，化石能源的比例和對進口能源的依賴程度，提高我國能源、經濟安全，並且改善燃燒化石燃料造成的空氣污染，再加上降低溫室氣體產生量的國際承諾，我國勢必將立刻進行能源政策的轉型。在傳統的能源種類之外，我們還有哪些新型能源可選擇？

有哪些新能源選項

傳統能源是人類經過長期廣泛使用，技術上已較為成熟的常規性能源，如煤、石油、天然氣等；新能源則是近代以新技術為基礎，進行有系統的開發與利用的能源。其中有的已經開發完善但尚未大規模使用，或是正在研究試驗，有待進一步開發。

聯合國開發計畫署（UNDP）將新型態能源分為 3 大類：大中型水力；新可再生能源（包括小型水力、太陽能、風能、現代生質能、地熱能、海洋能）；穿透生物質能。相對於傳統能源，新能源普遍具有污染少、可儲量大的特點，對於解決當今世界嚴重的環境污染和資源枯竭（特別是化石能源）的問題具有重要意義。新型態能源簡介如下：

太陽能

人類對太陽能的利用有著悠久的歷史，廣義上的太陽能是地球上許多能量的來源，如風能、化學能、水的位能，而化石燃料也可以稱為遠古的太陽能。太陽能的利用方式有兩種，為光熱轉換（被動式利用）和光電轉換兩種方式。主動式太陽能技術，包括利用太陽能光伏板和太陽能集熱器儲存能量。被動式太陽能技術，包括建築物所選擇的材料具有良好的儲熱質量或分散降溫的性能，以及空氣自然流通的空間設計。

水力

水力是指水體的動能、位能和壓力能等，可產生能量資源。水力發電，在種種可再生能源中歷史最為悠久，廣義的水能資源包括河流水能、潮汐水能、波浪能、海流能等能量資源;狹義的水能資源指河流的水能資源。屬於常規能源，也是一次能源。

核能

利用核反應爐中核裂變所釋放出的熱能進行發電，與火力發電的原理很相似，只是以核反應爐及蒸汽產生器來代替火力發電的鍋爐，以核裂變能代替礦物燃料的化學能。除了沸水式反應爐外，其他類型的反應爐都是一次側的冷卻劑經過爐心加熱，在蒸汽產生器中將熱量傳給二次側或三次側的水，然後形成蒸汽、推動汽輪發電機。雖然使用鈾礦來發電的核能並不屬於化石能源，但是由於鈾礦儲藏量有限，所以現行核分裂式的核能不算是可再生能源。將來如果核熔合式的技術能有所突破，核能做為可再生能源的可能性和重要性勢必會增加。

海洋能

海洋能即是利用海洋運動過程來生產的能源，包括潮汐能、波浪能、海流能、海洋溫差能和海水鹽度差能等，一些沿海國家的海岸線，就很適合發展潮汐發電。因月球引力的變化引起潮汐現象，導致海平面出現週期性地升降，因海水漲落及潮水流動所產生的位能成為潮汐能。

風能

在自然界中，風是一種可再生、無污染而且儲量巨大的能源。風力發電機利用風能可以轉變成機械能，再將機械能轉成電能。現代的風機在 1980 年後至今有突飛猛進的進步，不論在技術的進步以及成本的下降，都足以和傳統電能分庭抗禮。而位於海上的離岸風電場，由於海上的風更強、更穩定，而且海上面積大，所以離岸風電場的規模可接近傳統電廠，不過技術上及經濟上都有一些尚待克服的障礙。



圖 2. 風是一種可再生、無污染而且儲量巨大的能源。

地熱

地熱是來自地球內部的熔岩，以熱力形式存在，可以說地球是一個龐大的儲熱庫，蘊藏著巨大的熱能。火山噴出的熔岩溫度高達 1,200℃ -1,300℃，天然溫泉的溫度大多在 60℃以上，有的甚至高達 100℃ -140℃。運用地熱能最簡單和最合乎成本效益的方法，就是直接取用這些熱源，並抽取其能量。

可燃冰

稱為可燃冰的甲烷水合物，主要成分是甲烷分子與水分子，與海底石油、天然氣的形成過程相似，而且有密切的關係。埋藏於海底地層深處的大量有機物質在缺氧的環境中，厭氣性細菌把有機質分解後，最後形成石油和天然氣，在高壓之下形成甲烷水合物，也就是可燃冰。可燃冰是未來的潔淨新能源，可作為石油、天然氣的新時代替代能源而備受期待。

生質能

生物質是指能夠當作燃料或者工業原料，如活著或剛死去的有機物。生質能大多來自於種植植物所製造的生質燃料，或者用來生產纖維、化學製品和熱能的動物或植物。許

多的植物都被用來生產生質能，包括芒草、柳枝、稷、麻、玉米、楊柳樹、甘蔗和牛糞、沼氣（甲烷）等。

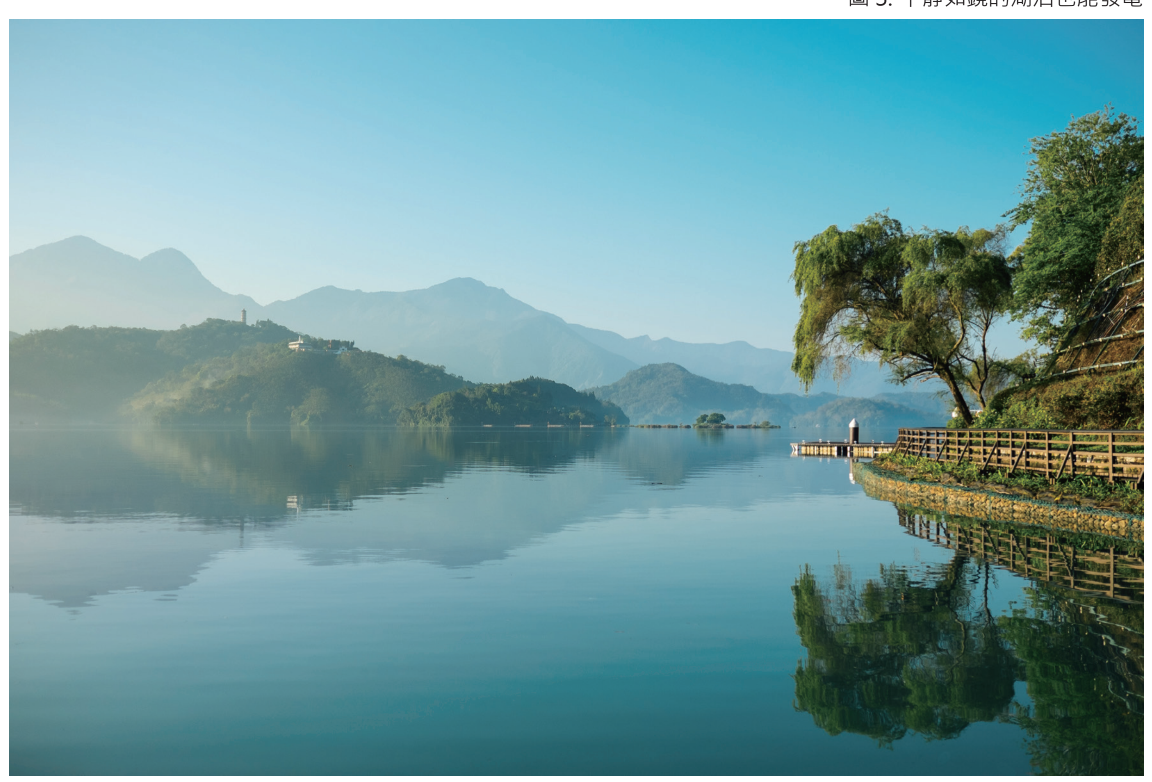
氫能

氫能是一種極為優越的新能源，每公斤的氫燃燒後的熱量約為汽油的 3 倍、酒精的 3.9 倍、焦炭的 4.5 倍。燃燒後的產物是水，是世界上最乾淨的能源。氫氣可以由水製造取得，而水是地球上最為豐富的資源，展現自然物質循環利用、永續發展的過程。氫能在 21 世紀將有可能上成為舉足輕重的二次能源。氫電池則是利用氫氣經過化學反應後產生能量，是燃料電池的一種，它不但不會產生廢氣污染環境，而且也可以儲存能量，目前科學家正在研究如何大量生產。

蒸發能

發表於 2017 年《自然通訊》期刊 9 月號的一篇論文表明，天然水分蒸發將成為一種新的可再生能源的來源。哥倫比亞大學的一個研究小組成員對此進行首次評估，發現美國的湖泊和水庫在蒸發過程中，能夠產生高達 325 百萬瓩的電力，接近美國目前總發電量的 70%。來自水分蒸發的電力可以不分晝夜供給，克服了太陽能發電和風力發電的不

圖 3. 平靜如鏡的湖泊也能發電



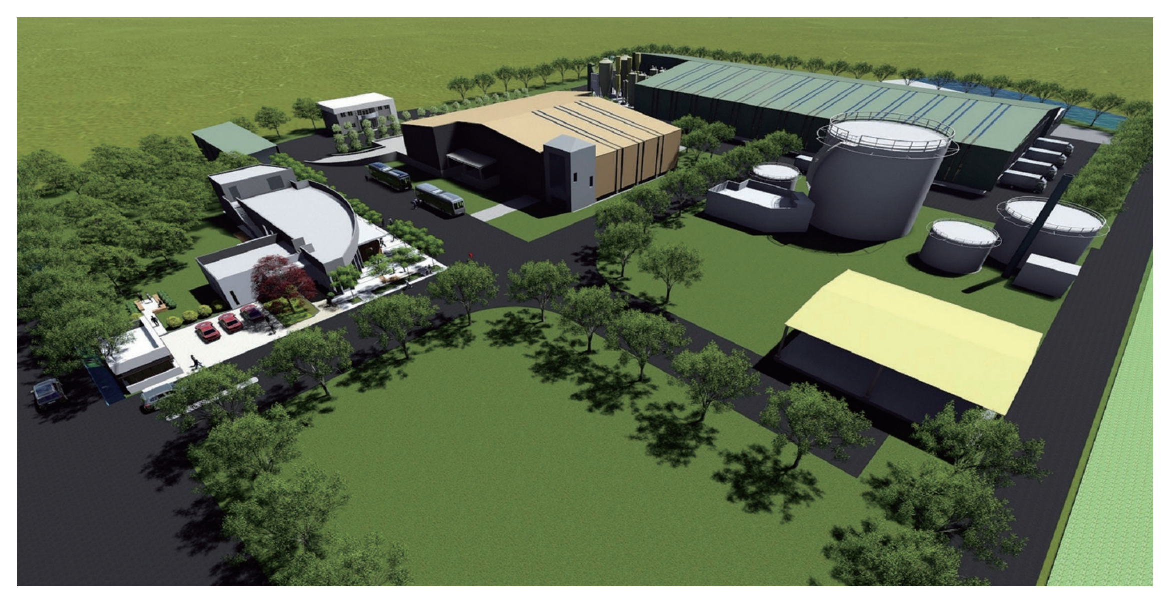


圖 4. 台中市外埔綠能發電廠可燃燒稻稈與廚餘發電。(來源 : 台中市政府)

穩定性問題，因為後兩者都會受到自然條件的限制，並需要儲電電池加以輔助。此外，蒸發發電技術還可以節約水資源，研究人員估計，從湖泊和水庫自然蒸發至大氣中的水分，在發電過程中有一半可以節省下來。研究顯示，利用蒸發發電的同時，一年可以獲得 25 兆加侖的蒸發水，約占美國總耗水量的 1/5。不過，目前仍只局限在實驗室內。

廚餘變能源

生廚餘除了可做堆肥，還可以經過回收、靜置、產生生物質能中的沼氣，進而變成可發電的燃料。全台第一座生質能源廠 – 台中市外埔綠能生態園區，將創下 3 項全國第一：全國最大廚餘厭氧發電、第一個稻稈氣化發電、全國最大綠能發電廠。台中市政府為鼓勵民眾多多響應，免費發送每戶一個容量 7 公升、標記著「1 桶生廚餘生產約 1 度電」的回收桶。台中市環保局表示，生廚餘可以拿來發電，透過外埔綠能生態園區的厭氧發酵技術，產出甲烷後，做為發電的燃料。對於厭氧發酵後所產生的沼渣，估計外埔綠能生態園區每天約產生 30 噸沼渣，將與委外業者搭配處理，約 2 成提供給在地農民作為土壤改良劑使用，讓資源永續循環。

當能源成為風險…

有一件事是我們要特別留意的，新能源中有的對環境不見得友善，有的會產生其他的副作用，例如甲烷是溫室氣體，對大氣的暖化威力比二氧化碳強 23 倍，燃點還很低，在生產、儲存過程容易發生爆炸等。

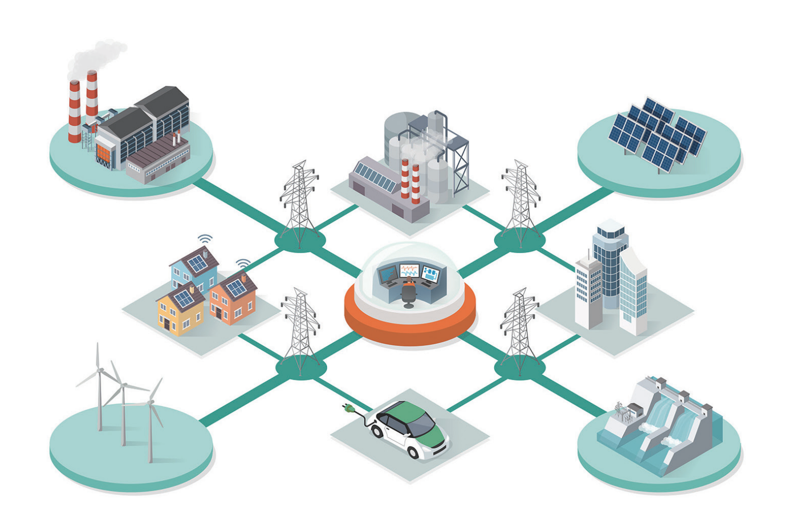
此外，許多新型態能源仍處於實驗階段，

距離可商業運轉、穩定供電仍有相當遙遠的時日。而台灣山地多平原少，地狹人稠，要發展較成熟的可再生能源又有許多先天條件的限制，因此在訂定能源配比時需要諸多考量。加上台灣屬於獨立的孤島型電網系統，電力必須即發即用，無法大量儲存，有緊急狀況時也無法由鄰近國家購電輸入支援。

根據中華信用評等公司8月7日發布的2018年中「信用展望報告」，列出台灣產業在今年下半年面臨的9大主要風險，其中之一就是能源政策風險。中華信評表示，台灣能源政策風險正在提高，缺電對高耗能高用電的科技業、鋼鐵、水泥及化學產業影響最大。

台灣發電備轉容量過低，造成電力供應的穩定度風險正不斷擴增，隨著天候日益炎熱氣溫飆高，今年的發電備轉容量曾經降到只有2.7%，顯示台灣能源政策風險正逐漸增加。由於可再生能源發電較不穩定，也進一步提高了台灣供電穩定性的風險，因此我們非常需要提高備轉容量。

為了滿足民生經濟的電力需求，也兼顧減少溫室氣體排放量的環保課題，目前各國政府的能源政策多採取相較保守穩定的能源配比。我國的能源政策雖應轉型，但也不能貿然髮夾彎，應該多多參考其他國家轉型成功的經驗。



資料來源：

1. 海面同時9個風暴！西有佛羅倫斯東有山竹來勢洶洶，美麗日報 (http://www.bldaily.com/international/p-277959.html)
2. 可再生能源，維基百科 (https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%AF%E5%86%8D%E7%94%9F%E8%83%BD%E6%BA%90)
3. 外埔綠能生態園區興建工程進度60% 預計8月底完工，台中市環保局 (https://www.epb.taichung.gov.tw/8868/8872/1013448/post)
4. Energy Harvested from Evaporation Could Power Much of U.S., Says Study (http://news.columbia.edu/content/1736)
5. 風評：中華信評的「能源風險」可能超乎預期，風傳媒 (https://www.storm.mg/article/474659)


位於瑞典 Mölndal 舊城區的 KVARNBYN Mölndal 水力發電

能源轉型有哪些出路？
— 最會轉彎的瑞典

文 張文杰

瑞典是世界上第一個決定要廢核的國家，也是唯一一個推翻廢核公投決定，並在國際非營利組織「德國看守協會（Germanwatch）」發表的最新減碳評比中，成為排名最高的國家，人均碳排放量只有德國的一半。瑞典這半世紀以來的能源轉型歷程值得我們深思並借鏡。

瑞典第一大電力來源是水力發電，約占總發電量的一半，因為瑞典擁有許多天然湖泊，國內擁有近 2,000 座水力發電廠，但在 1998 年的《環境法典》中規定不得再度開發河流，以保護河流生態，所以未來要增加水力發電的機會不高。除了水力發電和核電外，瑞典也積極開發生質能與風能，生質能

主要為燃燒樹木與垃圾來發電，反而未積極使用太陽能。

瑞典從 1950 年代就開始發展核能，第一座機組是 1.2 萬瓩的加壓重水反應爐，於 1964 年併聯發電，因為實驗性質居多，所以在 1974 年就除役。接著第一座商用型反應爐於 1974 年 8 月開始併聯發電，讓瑞典成為全世界最早擁有核電廠的國家之一。

瑞典最多曾擁有 12 座機組，分布於 4 座核電廠。不過從 1999 年起陸續關閉了 4 座機組；現在有 8 座機組在商轉中，分布於 3 座核電廠。2017 年，瑞典是一個擁有千萬人口的國家，核能發電量為 630.1 億度，是世界上人均核能發電量最多的國家；核電占總發電量 (1590.8 億度) 的 39.6%，是瑞典第二大的電力來源。

瑞典核電計畫的起源

1960 年代之前，瑞典幾乎完全依賴水力發電做為國內的電力來源，但水力發電的缺點是打造水壩會對環境及生態造成破壞，而且北歐國家沒有石油資源，只有少量煤炭，而瑞典擁有西歐最大的鈾礦，再加上石油危機等因素，所以瑞典選擇積極開發核能。

在當時，瑞典人認為鈾將會成為出口的重要商品，事實上，瑞典最初確實從露天鈾礦中提取鈾並且出口販售，不過鈾濃度不夠高，所以經濟價值有限；現今瑞典已不再開採鈾礦，而是從加拿大、澳大利亞和哈薩克等國進口核燃料。

在 1970 年代，瑞典是世界上人均最大的石油進口國，70 年代初期爆發第一次石油危

表 1. 瑞典核能機組表 (資料來源 : IAEA 官網)

名稱	類型	容量(瓩)	狀態	首次併聯發電
AGESTA	PHWR	1.2	已除役	1964/05/01
BARSEBACK-1	BWR	61.5	已除役	1975/05/15
BARSEBACK-2	BWR	61.5	已除役	1977/03/21
FORSMARK-1	BWR	102.2	運轉中	1980/06/06
FORSMARK-2	BWR	15.6	運轉中	1981/01/26
FORSMARK-3	BWR	120.3	運轉中	1985/03/05
OSKARSHAMN-1	BWR	49.2	已除役	1971/08/19
OSKARSHAMN-2	BWR	66.1	已除役	1974/10/02
OSKARSHAMN-3	BWR	145	運轉中	1984/03/03
RINGHALS-1	BWR	91	延役運轉中	1974/10/14
RINGHALS-2	PWR	96.3	延役運轉中	1974/08/17
RINGHALS-3	PWR	111.7	運轉中	1980/09/07
RINGHALS-4	PWR	117.1	運轉中	1982/06/23

機後，瑞典核電有如雨後春筍般迅速發展，1973 年至 1997 年間，石油做為能源供應的使用率從 71% 下降到 29%，核能則從 1% 增加到 37%，可說是「以核代油」的作法。

1980 年的全民公投

瑞典的中央黨是反核運動的先驅，中央黨於 1973 年宣布反對核電計畫，所以瑞典主要政黨在 1970 年代就核電議題展開了激烈地辯論。1979 年發生了美國三哩島事件，引發了瑞典民眾對核能安全的憂慮，隨後於 1980 年舉行了關於核能政策的公民投票。

這項公投不是單純的擁核或廢核二選一，而是有 3 個選項。選項 1：「應逐步淘汰核電，但必須同時考慮到維持就業和大眾福祉的電力需求，除此之外，為了減少對石油的依賴，在等待再生能源可供應之時，最多使用 12 個反應爐 (包含現有的和興建中的)，不再進一步擴增，至於反應爐的除役順序交由機組的安全程度決定。」此選項得到保守黨的大力支持。

選項 2，包含了上述選項 1 的文字並加上：「應大力推動節約能源，並要有具體作為進一步加強，但社會中最弱小的群體應受到保護；應採取具體措施控制電力消耗，例如在建造新房子時，禁止直接用電加熱；再生能源的研究和開發應在政府的領導下進行；關於核電，將實施環境和安全改進措施，每個反應爐都要進行專門的安全研究；為了讓公民有所了解，每個核電廠都會任命一個與當地有聯繫的特別安全委員會；應避免從石油和煤炭生產電力，政府對電力的生產和分配負有主要責任；核電廠和其他未來用於生產大量電力的設施，應歸國家和市政府所有，增收水力發電廠的營業稅，然後用於減稅。」此選項是由社會民主黨提出，並得到自由黨的支持。

選項 3：「不繼續擴大核電，廢除興建中的核能機組，並逐步淘汰目前運轉中的 6 個反應爐，最快 10 年內就要廢除。減少對石油依賴的保護計畫，應在以下基礎上進行：持續和加強節約能源，大增再生能源的發展；運轉中的反應爐需要符合更高的安全要求；我國禁止鈾礦開採；加強打擊核武擴散和相關工作；關於反應爐技術的出口將停止；通過替代能源生產來增加就業。」此選項為中央黨、基督教民主黨和左翼共產黨所支持。

簡單來說，選項 1 偏向「以核養綠」：要等再生能源可挑大樑時再廢核，但不再有新的核電機組計畫；選項 2 是「穩健減核」：強調節能、加強核安，並將核電廠都歸於國有；選項 3 是「積極廢核」：10 年內廢核，以節能和再生能源來取代核能和石油。

最終公投結果是選項 2 以 39.1% 險勝選項 3 的 38.7%，至於選項 1 只拿到 18.9%，廢票 3.3%，整體投票率是 75.7%。雖然瑞典的公投是屬於「諮詢」性質，並不具有約束力，也就是沒有法律義務要執行公投的結果，不過瑞典國會還是依照此公投結果，做出禁止建設新核電廠的決定，但已動工興建中的反應爐將繼續完成。至於淘汰核電的時間表，是以反應爐 30 年的營運壽命來計算，所以是計畫於 2010 年廢核。隨著此一決定，瑞典成為世界上第一個決定廢核的國家，接

著比利時、德國、義大利和西班牙也陸續決定要廢核。

政策急轉彎的關鍵

在瑞典公投後 6 年發生了車諾比爾核災，這加重了瑞典民眾對輻射安全的擔憂，1988 年由社會民主黨領導的瑞典政府，決定 1995 年開始實施廢核計畫，包括關閉巴瑟貝克 (BARSEBACK) 核電廠，最終巴瑟貝克電廠中兩座反應爐分別於 1999 年和 2005 年關閉。

不過工業界大力反對此計畫，宣稱將使瑞典社會損失超過 2,000 億瑞典幣 (約新台幣 6,700 億)，並使電力密集型產業，如造紙業和鋼鐵業的電價將翻倍，結果將導致 5-10 萬人失去工作，在這個非常重視公民福利和就業的國家，是非常嚴重的。

瑞典的能源政策重點在減少電力消耗、發展再生能源以及提高能源效率，並因為溫室氣體排放的影響，拒絕用天然氣和燃煤作為核電的替代品。國際能源總署 (IEA) 在 2000 年提出了專題報告，指出瑞典想用再生能源來取代核電，存在著巨大的障礙。例如，瑞典必須將生質能的發電量提升 3 倍，才能取代一座反應爐，所以如果要廢核，就必須將生質能增加到 30 倍以上，毫無疑問，這是不可能的。儘管瑞典在減少電力消耗以及提高能源效率這兩項取得了巨大的成功，但從 1988 年至 2000 年之間的電力成長來比較，根本是微不足道。

IEA 在 2004 年更進一步對瑞典能源政策提出呼籲，應該要「考慮到取代核電相關成本及其對瑞典能源安全的影響」；在 2008 年更直接譴責「瑞典的逐步淘汰核電政策不是一項明智的國家政策」，因為瑞典約有

瑞典北部的 Stornorrfors 水力發電廠



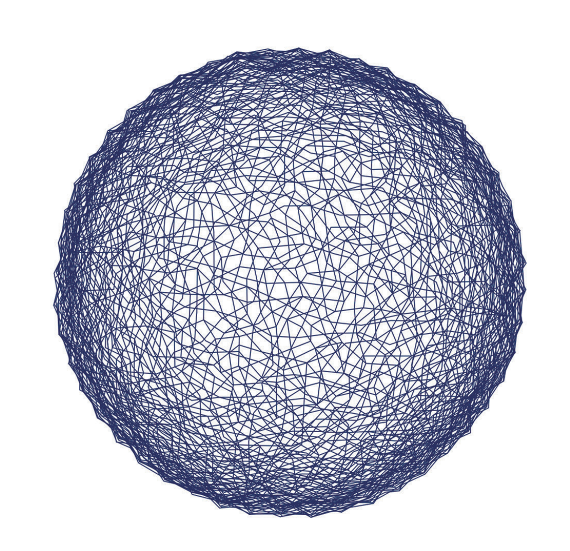
45% 的電力來自核電，如果瑞典要實踐廢核計畫，將無法達到減碳的目標，而且在後《京都議定書》時期，減少溫室氣體排放的目標可能比目前更加嚴格。值得注意的另一個問題是，如果瑞典廢核的話，將越來越依賴俄羅斯的油和氣，進而影響到國家能源安全。

基於上述種種原因，加上瑞典的社會民主黨在執政 24 年後，於 2006 年大選失利下台，換成溫和黨、中間黨、自由人民黨和基督教民主黨組成的瑞典聯盟執政。瑞典總理 Fredrik Reinfeldt 說：「能源議題必須全面而且長遠的思考，所有能源生產都會對環境產生影響，已建成的核電廠可減少使用嚴重污染的化石燃料。」

2009 年 2 月 5 日，瑞典聯合政府宣布得到絕大多數黨團的支持，廢除「停建新核電廠」的公投禁令，並在全球暖化更重大的憂慮下，可以再建新的反應爐來取代營運年限到期後的反應爐。隨著時間的推移，瑞典反核的公眾輿論已經減弱許多。瑞典聯合政府宣布廢除停建新核電廠的公投禁令時，有 62% 的瑞典人支持，只有 19% 的人反對。這麼懸殊的比例，讓反核的政黨倍感壓力，連反核先驅中央黨也不得不擺脫反核立場，只剩在野的綠黨堅持反核。

能源轉型成減碳龍頭

隨著能源轉型，瑞典對減碳展現出更高的興趣。廢除公投禁令同年的 12 月，瑞典以歐盟主席國的身份，在哥本哈根舉行的《聯合國氣候變化框架公約》締約方第 15 次會議 (COP15)，根據之前的決定，誕生了《哥本哈根協議》，代替 2012 年到期的《京都議定書》。如果這次會議中，各國不能達成共識、並通過新的決議，那麼在 2012 年《京都議定書》第一承諾期到期後，全球將沒有一個共同文件來約束溫室氣體的排放。因此，本次會議被喻為「拯救人類的最後一次機會」。



COP15 有來自世界各地 192 個國家和地區參加，參與人數超過 15,000 人，包括非政府組織、企業代表等。主辦國瑞典也以身作則，宣布在 2020 年前達成減碳 15-30%，希望此舉可以推動全球減碳的風潮。

轉型的挑戰

瑞典雖有意新建核電廠取代營運年限到期

後的反應爐，但是 2011 年發生了福島核災，又讓反核的綠黨抓到機會，加上福島核災後的加強措施增加了新電廠的建造成本，核電廠的初期成本龐大，瑞典政府又無意對核能部門進行補貼，導致核電廠的新建計畫遲遲無下文。

2014 年的大選由社會民主黨勝出，偏向反核的政黨又重返執政。緊接著 2016 年社會民主黨與綠黨合作的促成之下，瑞典做出 2040 年將 100% 使用再生能源發電的決定，這也意味著不需新建核電廠了，現有的核電廠雖可延役，但終將關閉。

結論

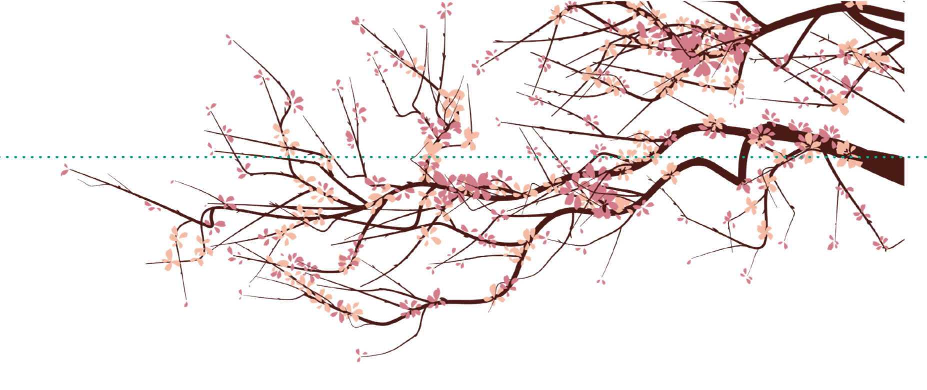
瑞典的能源政策深受政黨輪替與世界三大核災的影響，當反核立場的政黨勝選就轉向反核，當擁核立場的政黨勝選就轉向擁核，導致能源政策並非長期、穩定。1980 年的公投因美國三哩島事件而起，當時的風向當然偏向反核，但公投結果並不是「積極廢核」。而瑞典能源政策好不容易在 2009 年轉向擁核，隔兩年又發生福島核災，導致新建核電廠計畫停擺，風向又轉向反核。

瑞典從 1980 年到 2009 年花了近 30 年的時間，找不到使用再生能源來取代核能發電的方法，又瞭解減碳才是當今最重要的事情，所以從非核轉向擁核。但現在又轉回反核，這次打算花 20 年的時間，要用再生能源來取代核能發電。上次有許多新的核電廠，所以可以花 30 年的時間來尋找解答，如果這次仍然找不到，還有 20 年嗎？

（本文作者為核能科技協進會主任）



資料來源：
1. Nuclear Threat Initiative 網站 -Sweden Reverses Nuclear Phase-out Policy (http://www.nti.org/analysis/articles/sweden-reverses-nuclear-phase-out/)
2. IAEA 官網 -Sweden (https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=SE)



風聲雨聲、國事天下事

文 **林基興**

1831 年，法國文學家雨果出書《鐘樓怪人》，描述醜陋駝背敲鐘人與吉卜賽少女的故事。其實，敲鐘人溫和仁慈，但一般人只「以貌取人」，認為他醜陋就是可怕，並沒實際瞭解他，直到最後，他盡力挽救少女的生命，才改變民眾觀點。2009 年，英國牛津大學物理教授貢里森，以此故事提醒民眾對核能與輻射切勿「想當然爾」。

現在台灣正好有醫界省思反對核能的問題。2016 年，小兒科醫師王見豐寫給反對核能的名嘴：「有醫療問題應該詢問醫療人員，若你去問一位石器時代的巫師，如何治療白內障手術，她可能認為眼科醫師是要挖掉眼珠子，多半還會取走靈魂。對核電有疑慮，至少該聽聽真正的核能專家怎麼說，再自己理性判斷。」背後原因是，他認為台灣醫界大多反對核能。他徹悟地說：「以前人云亦云，是多麼無知。自從表態支持以來，我就在同學、同業中成為少數的怪咖。這並不意外，自己先前封閉又自以為是。值得慶幸的是，總算在 50 歲之前，跨出了解的第一步，真有朝聞夕死的喜悅。」

今（2018）年 6 月，前台大醫院副院長王明鉅教授，為文〈核四公投－從反對核能到贊成核能〉，談他以前反對的原因包括核電是威權體制下的黑箱工程、核能危險、台灣不缺電等。核四封存時，他歡欣鼓舞，但是他承認不解能源，例如，各式發電各有何風險？有何成本？為何老舊的核一、二可續用，但全新的核四就是不能用？現在反核成真，他卻質疑：去除政治好惡後，他想到台灣使用核電 30 多年來都是安全的，現在台灣開始缺電了，地球暖化與氣候愈來愈極端、PM2.5 傷害健康、日本核災可能是人禍造成⋯

信念的力量何其大！上述兩位菁英，因誤解而反對核能，後因瞭解而轉向支持。「風俗之厚薄繫乎一二人之所嚮」，多少民眾因菁英反對核能而跟著起舞的？大概很多。

2004 年，美國史丹福大學科學家密勒提到，若民眾並非專家，要他們對困難複雜的

科技問題提供建議，豈不就像到咖啡店問侍者（而非心臟專家），你的心臟需何種治療？該冠狀動脈手術或服藥？

民眾當知，認知未必等同現實，意見可能異於事實，希望反對者詢問對人，也能明辨思考，理性之光如風中之燭，但願醫界能發揚光大。

為賦新詞強說愁

今年 7 月，行政院記者會說明蘭嶼居民健檢約需 7,000 萬元，健檢項目包括可能因為核污染產生的疾病與項目。

1981 年，蘭嶼貯存場開始運作以來，全島設 54 個偵測站，原能會定期採取飲用水、地下水、農漁產物、土壤、海水、岸沙等，每年取樣超過 500 餘個樣品。歷年來結果均在自然環境背景輻射變動範圍內，環境背景值為每小時 0.2 微西弗以下，蘭嶼背景值介於 0.027-0.041 微西弗。另外，設場前、後的環境輻射劑量並無差異。那麼貯存場會導致什麼疾病？相對地，民眾的酗酒、憂心忡忡等，方為致病之因。

2016 年，蔡總統在道歉文中提到，當年政府在雅美族人不知情下，將放射性廢棄物放置在蘭嶼，「蘭嶼的族人承受核廢料的傷害」。當地民眾說，政府當年騙說要蓋鳳梨工廠；其實，至少有 3 項證據顯示，當時資訊公開，確定說清楚了要蓋放射性廢棄物貯存場，一是當時《立法院公報》第 69 卷第 73 期委員會紀錄：「處理與儲存此類放射性待處理物料」；二是 1985 年 11 月 10 日《蘭嶼雙月刊》，標題「貯存場設置考慮完善，原能會放射性待處理物管處處長強調安全無虞」；三為 1980 年 5 月 4 日媒體標題「放射性待處理物料，將送蘭嶼貯存」。

「謊言百遍成真理」，成為指責政府欺騙的把柄，民眾因而更同情蘭嶼而協助抗爭。蘭嶼年輕一代質疑：「當時有無用族語將真相告知族人」？因其長輩說「詢問該工地的用途，得到的答案是建設魚罐頭工廠。」這到底是誰給的答案？

也許最傳神的是，2002 年呂秀蓮前副總統對媒體說：「蘭嶼核廢料場沒有問題，是有些政客每年就要去挑它一下。」若說當地某人罹癌是因貯存場引起的，則要想想我國民眾罹癌率約每 100 人中有 25 人，約 1/4，此次健檢，應也可能檢測出癌症吧。

英國文豪莎士比亞的名劇《羅密歐與茱麗葉》，描述兩位青年男女相戀，卻因兩家的仇恨而迂迴走避，最後，賠上一對戀人的枉死。我們可由莎翁悲劇學到什麼教訓嗎？

熱浪的啓示

今年 8 月，《美國國家科學院院刊》發表研究報告指出，地球已比工業時代升溫攝氏 1 度，距離升溫 2 度的「熱室（hothouse）」，可能只有幾十年，並且將出現過去 120 萬年來最高的氣溫，導致海平面比現在高出 10 到 60 公尺。目前各地的熱浪與極端氣候，顯示地球對暖化的反應比我們原本預想的還敏感，到達「熱室」時，全球可能面臨嚴重的臨界點，推倒地球氣候平衡的骨牌效應。

我們該如何看待這樣的警訊呢？首先，大氣層中的溫室氣體保護地球，不至於像無大氣層的月球，日照就高熱，否則就寒冷，不適合人居，但溫室氣體過多時，地球就偏暖化，禍首的二氧化碳，主要來自充當能源的化石原料，包括煤、石油、天然氣，當前溫室氣體太多，導致太熱，需儘快減少燃燒石化原料來發電。

其次，石油、煤、天然氣等化石原料，經由裂解與合成，可做成各式原料與成品，例如醫藥、衣鞋、建材、車輪、半導體面板、塗料以及肥料，可說現代人類生活幾乎離不了化石產品；大家愛不釋手的手機，化石原料是一大功臣；張忠謀先生的台積電公司，1/3 以上是化學、化工人才。因此，善用化石原料的方式，應是拿來用在食衣住行育樂，若拿來燒掉發電，實在可惜，有若「焚琴煮鶴」。

化石原料是古代生物經過億萬年，在地質內經過物理化學變化，才得以產生的。人類在公元前已經開始燒煤與天然氣，工業革命以後，化石原料逐漸大量耗用，大部分相關的科學家均認為這些有限物質「不久」會用光，或開採的成本太高而不值得使用。

再者，開採、處理和運輸化石燃料會污染環境，燃燒化石原料，就會產生許多固體、液體、氣體廢棄物；例如氮氧化物、二氧化硫、揮發性有機化合物和重金屬，甚至放射性物質，主要是鈾和釷，釋放到大氣中。2000 年，全球因為燃燒煤炭，釋放了約 12,000 噸的釷和 5,000 噸的鈾，燃燒後產生的硫酸和硝酸會造成酸雨，空污物懸浮粒子導致呼吸道症狀、血管炎等。

化石燃料發電絕非上策，何況將讓地球氣候如脫韁的野馬，何其嚴重！

（本文作者為行政院科技會報辦公室研究員）





聽君一席話、猶感路迢迢 —
福島復原現況

文 劉振乾

2018 年 8 月 16 日，中華民國核能學會邀請東京電力公司副董事長廣瀨直己（Naomi Hirose）先生，就日本福島復原現況做第一手的報導。2018 年 7 月《能源論壇（Energy Forum）》的「Initial News 無法具名寫出的業界內幕資訊」專欄裡，有一段標題為「領導瀕臨困境的東電，H 氏不為人知的才能」對於廣瀨先生的評價如下：「在東京讀高中時，就與目前住在紐約的世界級音樂家 S 先生相識，並與 S 先生合組樂團。如果沒有進入東電服務，也許會成為音樂家」、「是感情豐富的人，做出的舉止能夠貼近受災者的心」。因為廣瀨先生在東電的營業部門服務很久，公司內外有很多人認為他「在最壞的經營環境中，從最壞的地方出發而再建東電，功不可沒。」

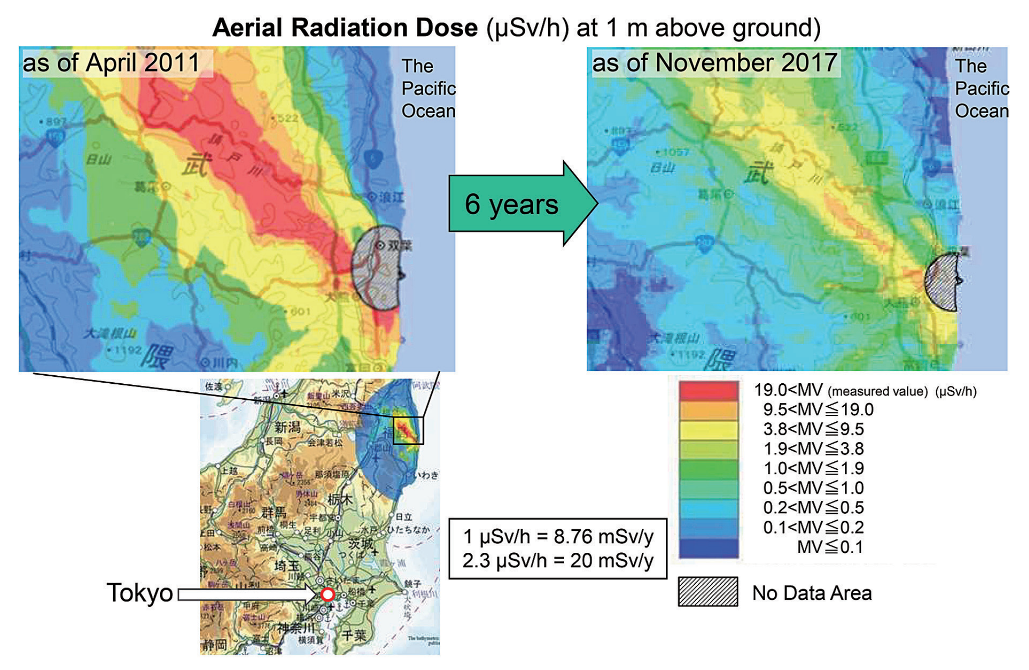


圖 1. 福島事故後附近地區輻射劑量分布情形，6 年前後的比較。

演講後的座談會，由中華經濟研究院梁啟源董事長主持，其他與談人為蔡春鴻教授（曾任行政院原子能委員會主任委員）、葉宗洸教授（清華大學工程與與系統科學系主任）、蔡富豐（台電副總經理兼核能發電事業部執行長）。

福島事故後的東電

身負福島復原重責的東電，2017 年收入總額為 532 億美元，台電則為 190 億美元（因為電價太低），裝置容量達 6,370 萬瓩，台電則為 3,220 萬瓩；2016 年時員工數 33,000 人。

2018 年日本的冬天日照時間減少，1 月與 2 月因為積雪使太陽光發電派不上用場，東電連續多日都以高價向廠商買回電力的方式，向其他電力公司融通，才度過難關。而電力自由化的結果，如果電價太高，家庭用戶也可跳槽。如果以每月用電 260 度的家庭為基準，基於「燃調制度」，由於液化天然氣的價格上漲，2018 年元月要付 6,180 日圓（約新台幣 1,670 元）的電費，到 10 月就必須付 7,180 日圓（約新台幣 1,940 元），上漲了 1,000 日圓。而在日本 26 度是談不上使用冷氣的舒適生活的。

安全除役的挑戰

廣瀨先生特別強調，福島一廠超過 95% 的地方輻射劑量已降低，能夠在穿著一般衣服的情形下工作。這對於工安有很大幫助，因為穿著防護衣不僅高溫難受，且臉部口罩讓旁邊的人說話都聽不清楚，容易發生工傷事件；現今福島一廠的除役現場每天有6,000人工作。由於東電並沒有「核能津貼」，因此核能部門與火力部門的調動頻繁，人事交

流輕而易舉，因此容易鼓舞全公司的士氣。

東電財務狀況介紹

2012 年 7 月，日本官方的「原子力損害賠償廢爐等支援機構」取得東電的 50.11% 股權，使東電成為半國有化。從 2011 年 11 月到 2018 年 3 月底，政府給予 7 億 5,500 萬日圓的資金援助，這是沒有利息的融資，以「特別利益」處理，不算「負債」。廣瀨先生指出，東電每年必須賺取 5,000 億日圓的盈餘，分 30 年攤還欠政府的「債務」，近 3 年來都有達成此任務。

協助福島居民復原工作

以「讓居民早日返鄉」為目標，東電已投入 42 萬人次的人力。由於員工中有 7,000 人在福島分公司工作，剩下的 26,000 名員工，在最近 5 年內，每人平均 16 天到福島從事志工的活動，工作項目：協助建屋、鏟雪、清潔墓園、打掃周遭環境與量測輻射劑量等。

所獲心得：灌輸員工安全文化、有效溝通、累積最佳工作經驗、營造團結精神。開放式溝通是必須落實的，廣瀨先生約每兩個月一次跟員工做開放式溝通，5 年來共達 25 次，這種面對面的溝通，能夠讓員工直接向社長申述意見，對於團結全公司帶來很大的力量。筆者在私下請教隨行的長谷川部長如何篩選參加員工，答案是由總公司通知時間後，受訪的單位員工自行報名參加，也就是沒有任何篩選機制，來者不拒，現任的社長也持續進行這種開放式溝通。

福島事故的後續影響

福島事故造成人民對核能發電的不信任，質疑核能發電的經濟性，對投資者的誘因降低，新建機組計畫不樂觀。原能會前主委蔡春鴻與台電副總經理蔡富豐曾於 2014 年參觀福島一廠，並與當地鄉鎮長座談，對於外界稱此地為「鬼域」的說法不以為然，誠所謂百聞不如一見。廣瀨先生表示，7 年來共有約 3,000 人離職，離職率約 10%，核能部門的離職率也在 10% 左右。311 事故前每年新進人員約 1,000 人，現在則為 300 人。

為了使讀者對東電以及福島地區的現況有更深入的瞭解，筆者彙集日本媒體相關的報導如下：

福島二廠決定除役

東電一直希望福島二廠的 4 座 110 萬瓩機組能夠恢復再啟動，但是福島縣政府等當地民意則堅決要求除役。2018 年 6 月 14 日的記者會上，就任東電社長約一年的小早川智明終於下了決定，他說：「曖昧的狀況成為福島復興的絆腳石」，而宣布要將福島二廠全部除役。同一天，首相府的菅官房長官也在例行記者會上說：「以政府立場給予正面的評估」。經過東電董事會正式決定後



圖 2. 以遙控機器人量測福島一廠 2 號機內的情形

就會向經濟產業省提出申請。（資料來源：2018/6/15，日本經濟新聞，3 版）

柏崎刈羽 1-5 號機除役計畫

東電社長小早川智明在 8 月 2 日，與柏崎刈羽核電廠所在地的柏崎市長櫻井雅浩會談。由於 2017 年 6 月，櫻井市長要求東電在兩年內提出 1-5 號機的除役計畫，並以此做為同意 6、7 號機再啟動的條件。針對上述請求，小早川社長明言：「為了答覆這項請求，將在公司內做出檢討」。

柏崎刈羽 6、7 號機是進步型沸水式反應爐（ABWR）與台灣的核四廠機型相同，其實 1-5 號機都是 110 萬瓩的新機型，最早商業運轉的是 1 號機：1985 年 9 月 18 日，最晚商業運轉的是 4 號機：1994 年 8 月 11 日。

東電於 2017 年 5 月的再建計畫裡，優先再啟動 6、7 號機後，其他 1-5 號機也要再啟動，因為每部機組一年可以貢獻 400-900 億日圓的收入，因此如果要將之除役，則再建計畫必須重新編定。若只剩下 6、7 號機，對於東電未來的財務計畫影響很大，因此小早川社長與櫻井市長洽談，希望僅除役其中幾部機組。（資料來源：2018/8/3，日本經濟新聞等各大報）

福島地區復興現況

自 2017 年 12 月 1 日開始，歐盟對於福島米以及岩手縣生產的部分水產物，不需檢查證明書就可以進口。2017 年 9 月 22 日，美國也對福島縣等 5 個縣的牛奶與乳製品，不再需要提出「不違反美國食品安全基準的證明書」就可以進口。

2017 年 11 月 21 日，沙烏地阿拉伯解除日本食品管制。之前對於福島縣與宮城縣以及東京都等 12 個縣的食品，要提出「放射性物質檢查證明書」才能進口。

圖 3. 東電志工投入復原工作的情形







Weeding at cemetery

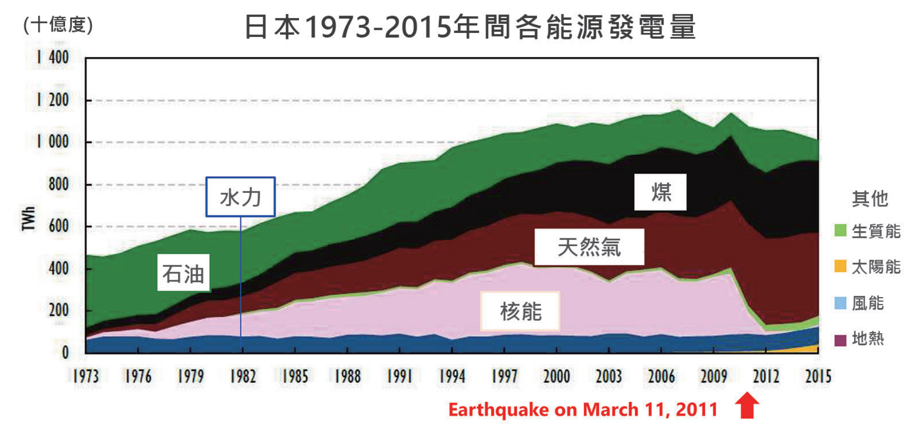


圖 4. 日本能源安全 : 福島事故後日本自有能源 (主要為水力及風能) 僅占約 7%

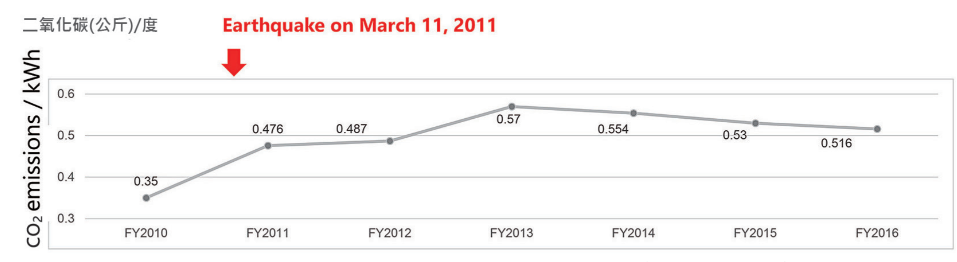


圖 5. 日本二氧化碳排放量在福島事故後大增

這些成果是如何得來的？福島縣政府對於稻米檢查採用每袋檢驗，每年都要檢驗約 1,000 萬袋，所需經費高達約 60 億日圓。從 2014 年開始未檢驗出超過每公斤 100 貝克，而 2016 年則是 1,000 萬袋中，只有 5 袋米是每公斤 51 貝克，成績非常好。福島縣其他穀類、蔬菜、水果、牛奶、肉類、蛋類、牧草、海產物等 8 類，在 2016 年全數符合國家標準（100 貝克 / 公斤）。（資料來源：www.pref.fukushima.lg.jp/sec/36021d/monthly-report.html）

2013 年，荷蘭王室晚餐餐桌上出現了日本清酒（主要原料為米），2017 年日本首相安倍晉三宴請美國總統川普的國宴上，亦有一款日本酒受到矚目。這兩支日本酒的共同特質：都來自福島。

發生核子事故的福島一廠位於大熊町與雙葉町，2018 年 5 月 9 日大熊町南部的大川原地區有約 20 位農民種下「可以銷售」的秧苗。該地區預定 2019 年春天解除「避難指示」。從 2014 年開始，大熊町公所就確認除污的效果，並實施試驗栽培，收穫的稻米原則上要廢棄，不過生產的稻米經過輻射檢查都低於中央政府規定的每公斤 100 貝克的基準值。自 2018 年起即改為「實證栽培」，收割後的稻米將在大熊町主辦的活動中推廣銷售。

正確測出福島事故的影響

福島縣立醫科大學健康中心副主任宮崎真與東京大學名譽教授早野龍五合作，分析福島縣伊達市居民的數據，弄清楚居民所接受

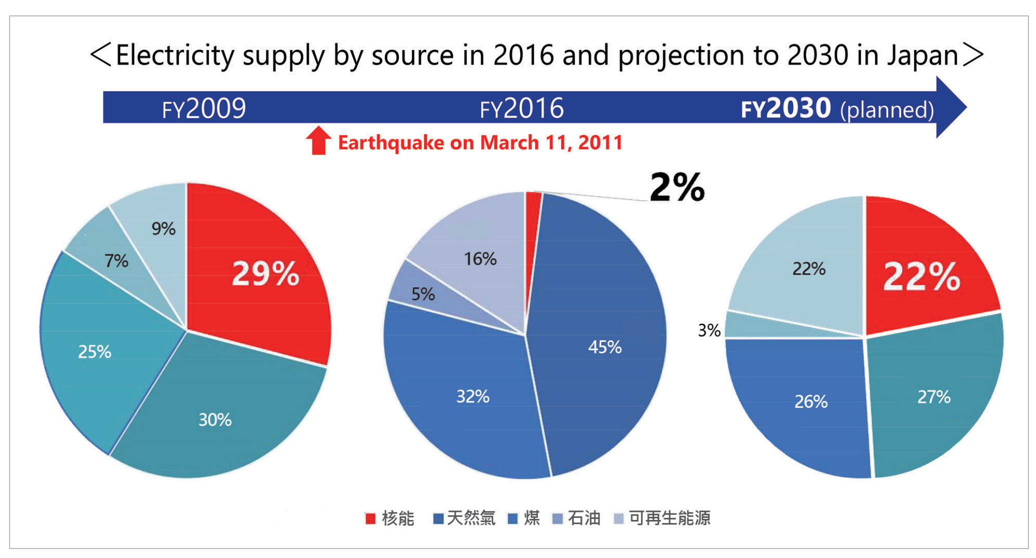


圖 6. 日本電力供應現況：政府設定 2030 年核能應占 20-22%

的輻射劑量，當初的推估與實際的測定之間有差異，而清除污染土壤的除污效果有限。

在舊蘇聯時期發生的車諾比爾事故，居民所接受的輻射劑量幾乎都是靠推估來獲得，但是在福島事故，則是用偵測器掛在身上測出實際接受到的劑量。從 2011 年 8 月在福島縣伊達市就將玻璃劑量佩章分發給居民，並將測量結果通知居民，再將實際的測量結果與同一時期從飛機上所測出的空間輻射劑量相比較，兩者形成相當好的比例關係。

日本政府在事故後，推估居民所接受的輻射劑量為空間輻射劑量的 0.6 倍，但是在伊達市的實際測量結果只有 0.15 倍而已。實施 6 次飛機上所測出的比例都差不多，也與產業技術綜合研究所所做的研究結果一致。

根據數據，試算在伊達市在事故後，連續居住 70 年後所累積的輻射劑量，即使是住在劑量較高地區的居民，約有 9 成的居民在 35 毫西弗內。居民所接受的輻射劑量被個人的行動所左右，即使住在同一場所的居民中也有很大差異。應該要注意到以從飛機上所測出的空間輻射劑量單純乘以比率，並不能預測個人所接受的輻射劑量。（資料來源：2017/6/23，日本經濟新聞）

雖然福島事故後已經歷 7 年多，但是日本核電政策仍在浮動狀態，最重視下一次的選舉與下一次升遷的政治家與官僚，他們的眼界只有 3 年而已，然而要正確地提出包含核電在內的能源政策，則需要透視往後 30 年的眼光，3 年與 30 年，其中的鴻溝很難填滿。（資料來源：2018/5/14，日經經濟教室專欄，橘川武郎，東京理科大學教授，專長能源產業）

（本文圖片來自 2018 年 8 月 16 日廣瀨直己先生簡報資料）

韓國調查
顯示有7成民眾支持核電

譯 **編輯室**

韓國《中央日報（Korea JoongAng Daily）》於最近報導，韓國核能學會（Korean Nuclear Society）於今（2018）年8月初就「韓國的核能發電與其影響」對1,000位韓國國民進行了看法與意見的調查，其中有近38%的民眾希望韓國能提高對核能發電的依賴，有約32%的受訪民眾覺得應該維持現狀，不到29%的民眾覺得應該降低。根據這份報導顯示，韓國目前有30%的電力是來自核能，僅次於35%的燃煤。韓國核能學會在公開聲明中表示，韓國今年受到熱浪的影響，核電廠的運轉率不斷上升，以補足國內持續上漲的電力需求，儲存於月城核電廠中的放射性廢棄物將於2020年貯滿，代表政府未來可能會有新建反應爐的需要。

這份調查結果還顯示，有超過55%的韓國人認為韓國的核電廠是安全的，約有40%的民眾覺得不安全；還有超過70%的民眾覺得，核電在維持低電價方面有非常大的作用，表示與風能與太陽能發電相比之下，核電更為便宜。另外，另一項調查結果也顯示了近60%的民眾，期望政府能投資支持開發新的核能技術，也有超過50%的民眾，希望政府能給予國營的韓國電力公司（KEPCO）更多的補助，來出口韓國的核電技術。韓國核能學會也呼籲，韓國政府應多聆聽民眾與專家的意見。

根據韓媒《Business Korea》最新的報導，韓電今年第2季度的營業虧損額達6,800億韓元（約180億新台幣），已是連續第3季出現赤字，這也是韓電自2011年以來首次出現此情況。2011年的赤字主要是受到當時原油價格飆升的影響，而這次不良的表現可歸咎於多項原因，例如韓國新政府上任後所執行的「逐步廢核」計畫導致核電使用率的降低、核電廠發電成本超過發電量、液化天然氣發電比率的增加，以及燃料價格上漲等，使得韓電自去年第4季結算就有超過1,290億韓元的損失。

資料來源：
1. Korea JoongAng Daily. "70% like nuclear power: Survey."
2. Business Korea. "KEPCO Suffers Huge Losses As a Result of Nuclear-free Energy Policy."

英國潛水員完成 水下放射性廢棄物處理作業

譯 編輯室

專業潛水員於最近提早完成在英國賽茲韋爾（Sizewell）A 核電廠，核燃料儲存池內放射性廢棄物處理的任務，比原先預期的時間提早了近兩個月。藉由池水可隔絕放射性成為保護，潛水員成功拆解了池內剩下的 35 個廢棄物貯存架，也在池底地板的放射性污泥被清除前，完成了約 100 噸廢棄設備的切割。

英國除役公司美諾克斯（Magnox）表示：「以往燃料池的清理都是使用遠端操作來進行，將受放射性污染的貯存桶與水池中其他設備自水中吊起，讓其暴露在空氣中來進行切割與除污。整個過程緩慢，對執行的工作人員也有潛在的輻射劑量風險。而使用這種創新的水下除役技術，工作人員所接受到的輻射水平也比傳統（於空氣中執行的）除役技術低了約有 20 倍。」另外，這種創新技術對環境的影響也較低，速度更快且效率更高，成本也因此較低。

這次完成任務的潛水員團隊來自英國水下建設公司（Underwater Construction UK Ltd.），他們在 2016 年先於英國另一座核電廠進行了首次「核子潛水」，並於 2017 年 10 月抵達賽茲韋爾 A 核電廠。賽茲韋爾 A 下個階段的除役工作，是把池內的放射性廢棄物運出水池，在安全的環境下進行處理與包裝，預計將於 2019 年底清空、排乾儲存池。

賽茲韋爾 A 核電廠的兩部機組自 1966 年開始運轉，已於 2006 年底停機進行除役，自 2009 年開始移出燃料池中的用過核燃料，最後一批的用過核燃料，已於 2014 年 8 月移出電廠。

資料來源：
World Nuclear News. “Divers complete radwaste work at Sizewell A.”



在賽茲韋爾 A 核電廠燃料儲存池內工作的潛水員（圖片來源：Magnox Site）

日本伊方核電廠3號機將於10月重啓

譯 **編輯室**

日本廣島高等法院針對愛媛縣伊方（Ikata）核電廠 3 號機，以「無法確認會發生大規模火山噴發的可能性」為由，撤銷了 2017 年所做的暫停運轉的判決，並批准可重新運轉。隨後，四國電力公司宣布將於 10 月 27 日重啟伊方核電廠 3 號機。

2017 年 12 月廣島高等法院指出，位於熊本縣的阿蘇火山有巨大爆發的危險性，可能危及伊方核電廠。因此做出 3 號機在 2018 年 9 月 30 日之前停止運轉的假處分。當廣島高等法院判決暫停運轉假處分時，伊方核電廠 3 號機正在進行定期檢查。對此判決，四國電力公司提出異議，要求取消此判決，並且舉行聽證會，廣島高院換由不同法官審理。

四國電力公司主張，就算阿蘇火山出現有史以來最大規模的火山噴發，火山碎屑流也不會到達伊方核電廠。並且在 3 號機運轉期間，阿蘇火山要發生大規模噴發的可能性也很低。

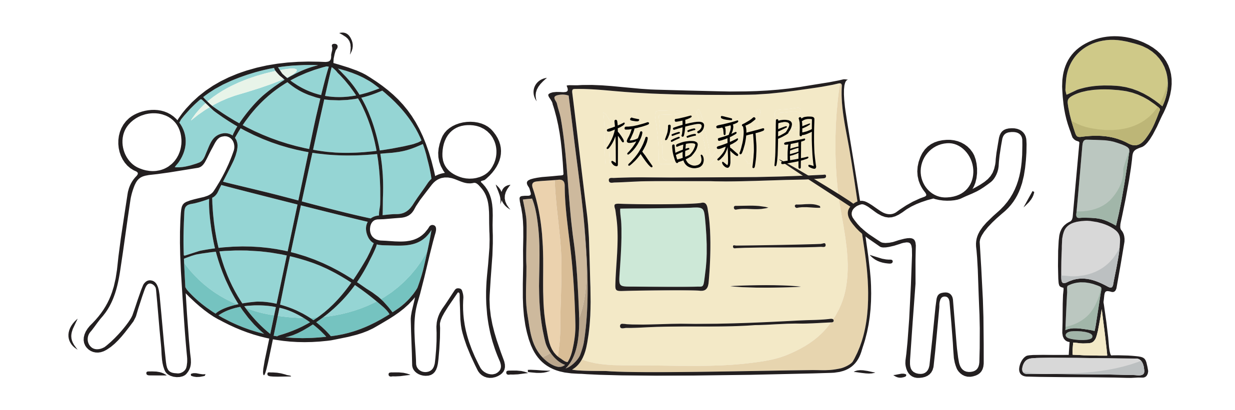
廣島高等法院法官三木昌之（Masayuki Miki）認為，阿蘇火山爆發時的碎屑流到伊方核電廠的可能性極小，影響核電廠運轉的火山灰量不大，「四國電力公司採取了合理性措施，可以防止緊急發電機喪失功能，所以並沒有特定的危險。」因而否決了 2017 年 12 月的判決。

目前由民眾提出申請禁止伊方 3 號機運轉的假處分，還有高松高等法院、大分地方法院以及山口地方法院岩國支部正在審理中。未來這些法院判決的結果，將決定伊方 3 號機是否真的能繼續運轉。

資料來源：
https://www3.nhk.or.jp/news/html/20180925/k10011643471000.html?utm_int=news-culture_contents_list-items_003



日本伊方核電廠(圖片來源：四國電力公司)



國外新聞

瑞士首次獲准進行最終處置設施鑽探

瑞士國家放射性廢料處置合作社（Nagra）在 2016-2017 年間，向瑞士聯邦能源辦公室（Swiss Federal Office Energy）提交了 22 份的鑽探申請，分布在 3 個不同的地區，每項鑽探都需通過各自的申請流程以獲得批准。而瑞士聯邦環境、交通能源與通訊部（DETEC）已於今（2018）年 8 月 17 日批准了其中 3 項鑽探申請，分別位在瑞士北方的 Nördlich Lägern 與 Zürich Nordost 地區。DETEC 表示，其他鑽探申請的結果則會在未來幾週或數月內宣布。

瑞士 Nagra 公司計畫從 2019 年開始執行最終處置場潛在場址的地質鑽探作業，以確認這些候選場址的底土（subsoil）是否符合建設最終處置場的標準。Nagra 公司在 2011 年 11 月選址作業的第 1 階段時，就已提出 6 個候選地點，一個將用於中低放射性廢棄物的最終處置，另一個則用於高放射性廢棄物。DETEC 估計在今年底前，應可確認進入選址作業第 3 階段的地區。

根據鑽探的結果，Nagra 公司預計將於 2022 年宣布，將會替哪兩處地點申請最終處置場建設執照，但最終的選址與決定仍需要聯邦委員會（瑞士國家行政最高機關）與議會的通過，甚至視需要進行公投。中低放廢棄物與高放射性廢棄物最終處置設施，預計分別於 2050 與 2060 年啟用。

World Nuclear News, 08/21/2018

芬蘭將在低放廢棄物管理方面給予中國協助

芬蘭能源公司 Fortum 以及工程顧問公司 AINS Group，近期簽署了一份諒解備忘錄（MoU），將為中國中低放射性廢棄物的安全管理，提供更大範圍的聯合服務，這份備忘錄也強化了芬蘭其他公司、組織間的合作。預計到 2020 年時，中國核電廠的發電量將達到 5,000 萬瓩（50 GWe），也意味著屆時每年將產生 1,200 噸的用過核燃料，累積容量預計將達到 14,000 噸。

芬蘭 Fortum 公司是世界上最早開始經營地下處置設施的公司之一，除了是全球最早開始建設用過核燃料深層地質處置場的公司之外，自 90 年代就開始營運一座中低放射性廢棄物的掩埋場。Fortum 公司同時也是 Loviisa 核電廠的營運廠商，該座核電廠擁

有可儲存電廠運轉期間與除役期間，所產生之放射性廢棄物的儲存庫。Fortum 公司指出，在核電廠附近進行放射性廢棄物的最終處置，可以最大限度的降低放射性廢棄物對運輸的需求，以及所涉及到的風險。

自 70 年代開始，AINS Group 即致力於為芬蘭另一間電力公司 TVO 設計中低放射性廢棄物處理中心，這座處理中心從 1992 年以來一直在營運當中。另外，AINS Group 還替韓國月城核電廠的放射性廢棄物管理，設計了一座大型綜合設施，該座設施已於 2015 年啟用。

Nuclear Engineering International, 08/28/2018

美國核管會恢復德州集中式貯存設施建造申請之審查

美國核能管制委員會（NRC）於近期通知德州一間集中式中期貯存設施建設公司 ISP，表示 ISP 於今（2018）年 6 月所提交的「德州安德魯斯郡（Andrews County）用過核燃料集中式中期貯存設施建造執照申請修正案」提供了充分的資訊，同意恢復該項執照申請的審查作業。

ISP 是由美國廢棄物管控專業公司（WCS）與 Orano 公司合資成立，WCS 公司原規劃於德州安德魯斯郡，建造一處用過核燃料集中式中期貯存設施，並於 2016 年 4 月向 NRC 提出建設執照申請，但在 2017 年 4 月卻因財務問題函請 NRC 暫停審查作業。今年 1 月 ISP 成立，繼續推動建設執照的申請，並於 6 月初函請核管會恢復所有環境安全審查作業，陸續提出第 2 版的安全分析報告與環境報告。

RWMC & Interim Storage Partners, 08/27/2018

南非取消擴展核電的計畫

南非能源部長在最近公布最新版《綜合資源計畫（Integrated Resource Plan）》時宣布，已取消在 2030 年前建設 960 萬瓩核電裝置容量的計畫，未來將把目標放在提升天然氣、風力等其他能源發電。南非僅有一座核電廠，2 部機組總裝置容量為 186 萬瓩，南非前總統祖馬（Jacob Zuma）曾計畫在 2030 年前完成 960 萬瓩裝置容量的建設，但在費用與其他因素方面面臨到了困境，這項最新版的《綜合資源計畫》也顯示了南非國家電網上的電力需求處於下降的狀態。

俄羅斯國家原子能公司（Rosatom）在先前的擴增計畫中，被視為最可能獲勝的競爭者，祖馬先前已與俄國總統普丁多次進行會談，因此外界均猜測俄羅斯在南非公開招標前就已獲得這筆訂單，但雙方均否認。不過，在南非現任總統拉瑪佛沙（Cyril Ramaphosa）上任後決定減緩擴建核電的計畫，聲稱該計畫過於昂貴，南非能源部長也公布南非將「取消擴展核電」的宣言，未來南非的電力擴建計畫將改為使用其他再生能源與天然氣來發電。

Reuters, 08/27/2018

日本核能管制機構將更新放射性廢棄物法規

根據日本《每日新聞》最近的報導，日本原子力規制委員會（NRA）計畫在未來要求「反應爐除役期間所產生的高放射性廢棄物，需被埋藏在地下 70 公尺深處，且為期 10 萬年，直到這些放射性廢棄物不再有害為止。」這項計畫是就反應爐拆除後，所產生的放射性廢棄物來擬定的「最終處置場址監管標準」的一部分，原子力規制委員會也

於 8 月初通過了這項標準。在最終確立新監管標準之前，原子力規制委員會將與核電廠營運廠商以及其他電力公司進行協商。

日本依照放射性的強度，將除役所產生的低放射性廢棄物按照 L1、L2、L3 的順序降序分級。舉例，屬於 L1 的低放廢棄物裝有控制棒與燃料組件的容器等，屬於受放射線污染程度較高的低放廢棄物。而根據目前擬定的 L1 廢棄物標準，電力公司將被要求在地質穩定的地方建造處置場，且地點需離斷層帶至少 5 公里或是更遠。電力公司還需要從過去的紀錄或地質調查中，確認在過去的 260 萬年內，場址地點附近均未有火山活動，也須避免在含有石油或礦產之處。在處置之後也需要定期監測約 300-400 年，未經中央許可，處置場的持有公司也將被禁止在處置設施的周圍開挖。這項已擬定好的標準也要求處置場址的輻射劑量將按照國際標準，限定在每年不可超過 0.3 毫西弗（mSv）。

Nuclear Engineering International, 08/07/2018

東京電力公司將調查福島電廠 2 號機爐心殘骸的情況

根據日本共同社的報導，東京電力公司正計畫於 2019 年 3 月底前，對福島第一核電廠嚴重受損的 2 號機爐心燃料殘骸進行調查，探討移除殘骸的方法。這也是東京電力公司首次執行「與 1-3 號機燃料殘骸直接接觸」的調查，福島第一核電廠 1-3 號機，在 2011 年 3 月受到東日本大地震與海嘯的侵襲，期間發生了爐心熔毀的一級核子事故。東京電力公司已在 1 月使用電子伸縮手臂進行的調查中，確認了 2 號機反應爐壓力槽底部的燃料殘骸。

東電希望能搜集相關資訊，來決定燃料殘骸取出的方式，以及如何研發一座容器來保存。東電將利用一種裝有攝像機的設備，來檢查是否能移動這些燃料殘骸，雖然在調查期間不會取出這些碎片，卻可以收集樣本以供分析。根據東電與日本政府一同規劃的時間表，預計將在 2020 年 3 月決定燃料殘骸的取出方式，以及將從哪部機組開始執行。

東電在去年 7 月於 3 號機的水下探測中，發現疑似燃料碎片的物體，但該部機組燃料取出的情況將比 2 號機難出許多，1 號機燃料殘骸的位置仍未知，目前將專注於 2 號機燃料碎片的取出。

Nuclear Engineering International, 07/30/2018

俄製浮動式核電廠將於 2018 年底試運轉

負責俄羅斯浮動式核電廠建設與營運的俄羅斯浮動核電公司於最近宣布，該國首座浮動式核電廠「羅蒙諾索夫院士號」將於今（2018）年底開始試運轉，艦中反應爐實際啟用與後期的測試將持續至 2019 年 3 月。

俄羅斯浮動核電公司表示，目前的工作仍按計畫進行，該座浮動式核電廠將於明年 8、9 月，視北海航線天氣與結冰的情況，將其從摩爾曼斯克（Murmansk）拖曳至北極東北部的佩維克（Pevek），於佩維克的沿海基礎設施也將逐漸完工。目前該座浮動式核電廠正在摩爾曼斯克進行燃料裝填。

羅蒙諾索夫院士號為移動式低功率發電機組計畫中的一項主要計畫，艦中的兩座反應爐裝置容量之和約是 7 萬瓩。艦中所使用的反應爐已完成測試，未來將用於大型工業公司、港口城市、開鑿石油或天然氣等的供電。

Nuclear Engineering International, 09/04/2018

國內新聞

「石」在安心 — 石材建材業者輻射檢測皆合格

原能會繼 2017 年主動積極與「台北市石材商業同業公會」及「台灣區石礦製品工業同業公會」合作，實地訪查國內北、中、南及東部 4 區石材建材業者(https://www.aec.gov.tw/newsdetail/headline/3950.html)，花崗石及大理石總計檢測 169 件，結果皆符合法規規定，無輻射安全顧慮。

今(2018)年原能會持續進行國內石材建材業者輻射檢測，並於 8 月 16 日完成東部地區石材建材業者輻射檢測，花崗石及大理石總計檢測 24 件，結果皆符合法規規定，無輻射安全顧慮，請民眾可以放心。

本刊訊，2018/09/11



原能會執行石材建材業者輻射檢測情形

負離子床墊輻射超標　下架回收

今(2018)年 5 月韓國政府發現 Daijin 公司生產的床墊添加「獨居石」負離子粉，並宣稱具有健康療效，經調查部分負離子床墊釋放的放射性氡氣濃度過高，造成使用床墊民眾的輻射劑量，超過韓國法規管制值每年 1 毫西弗，最高者達每年 9.3 毫西弗，這也是全球首例。韓國政府隨即下令業者回收超標床墊共計約 4 萬 8 千床。原能會立即成立專案工作小組，積極採取多項立即因應作為，首先確認韓國超標負離子床墊，我國並無進口，進一步調查國內生產販售負離子床墊是否超標。

訪查大賣場、專賣店及網路後，發現有 10 家業者生產或販售標榜具負離子特性的床墊，經聯繫生產廠商進行檢查，確認其中 2 家業者販售負離子床墊釋出氡氣濃度過高，檢測評估對人體輻射劑量已超過法規管制值每年 1 毫西弗。貝多麗生物科技公司販售的負離子床墊，經檢測評估對人體輻射劑量最高達每年 76.83 毫西弗，展驛國際企業公司銷售的薄型床墊添加負離子粉，經檢測評估對人體輻射劑量最高達每年 3.65 毫西弗。

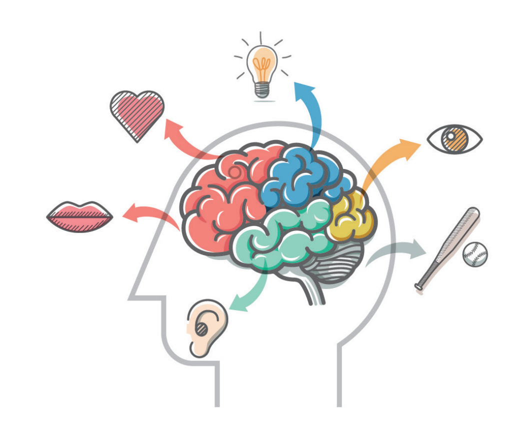
原能會於 8 月 20 日通報行政院，在行政院消費者保護處的統籌下，結合經濟部標準檢驗局、原能會與地方政府消保官組成聯合稽查小組，共同進行查察處理，目前已依消費者保護法要求兩家業者下架超標產品並進行回收，且積極就相關的上游廠商、原料來源循線深入調查中，後續對天然放射性物質的強化管理機制。

負離子粉中的礦石粉因含有釷系、鈾系天然放射性物質，當特定商品使用的負離子粉濃度過高時，所釋放出的來輻射或氡氣，就有影響公眾安全之虞。

本刊訊，2018/09/11



原能會針對全台寢具業者進行調查，發現部分負離子床墊輻射超標。



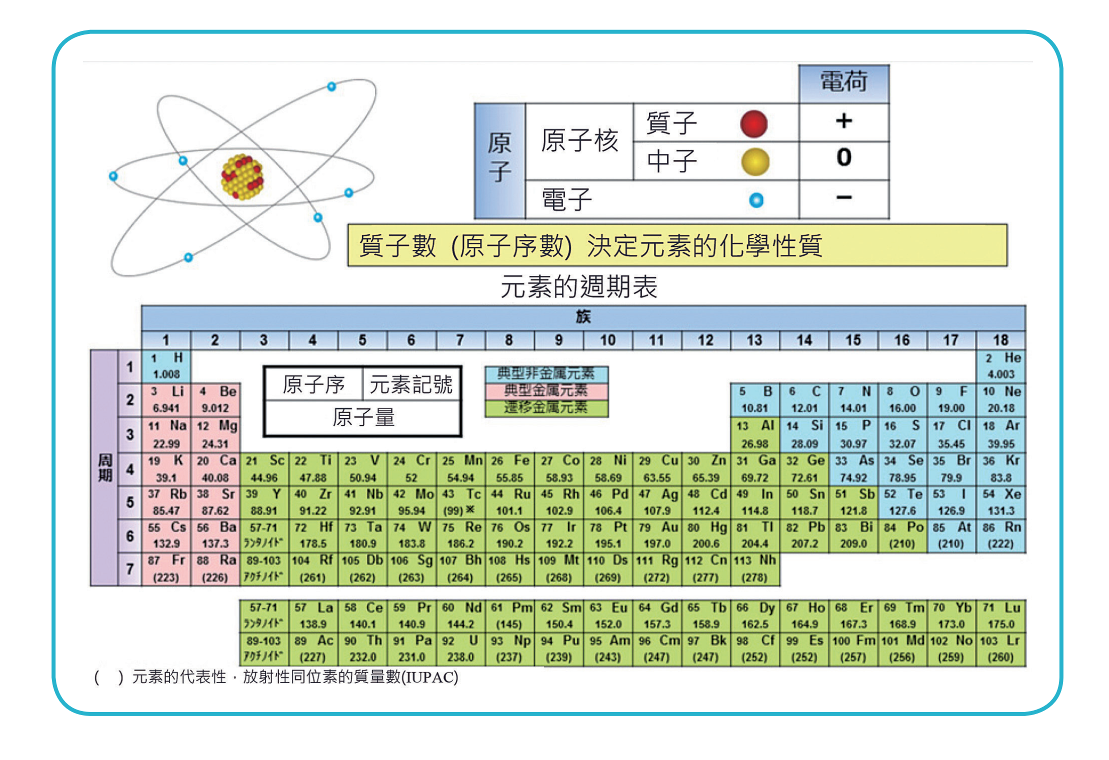
什麼是放射性與輻射？（十）

譯 朱鐵吉

Q 原子的構造為何？同位素又是什麼？

A 原子是由一個原子核與在它外圍環繞著的電子所組成。

原子核內含帶有正電荷的質子和中性的中子，原子的化學性質（元素的種類）和質子數（原子序數）有關，例如碳元素的「質子數」固定是 6 個，「化學性質」都相同是「碳」，但是碳元素的「中子數」分別有 5-8 個，元素的質子數相同，



週期 \ 族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 1.008																	2 He 4.003
2	3 Li 6.941	4 Be 9.012											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
3	11 Na 22.99	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
4	19 K 39.1	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.95	35 Br 79.9	36 Kr 83.8
5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (99)※	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
6	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57-71 ﾗﾝﾀﾉｲﾄﾞ	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)
7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103 ｱｸﾁﾉｲﾄﾞ	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (263)	107 Bh (264)	108 Hs (265)	109 Mt (268)	110 Ds (269)	111 Rg (272)	112 Cn (277)	113 Nh (278)					

57-71 ﾗﾝﾀﾉｲﾄﾞ	57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (145)	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0
89-103 ｱｸﾁﾉｲﾄﾞ	89 Ac (227)	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np (237)	94 Pu (239)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (252)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (256)	102 No (259)	103 Lr (260)

（　）元素的代表性，放射性同位素的質量數(IUPAC)

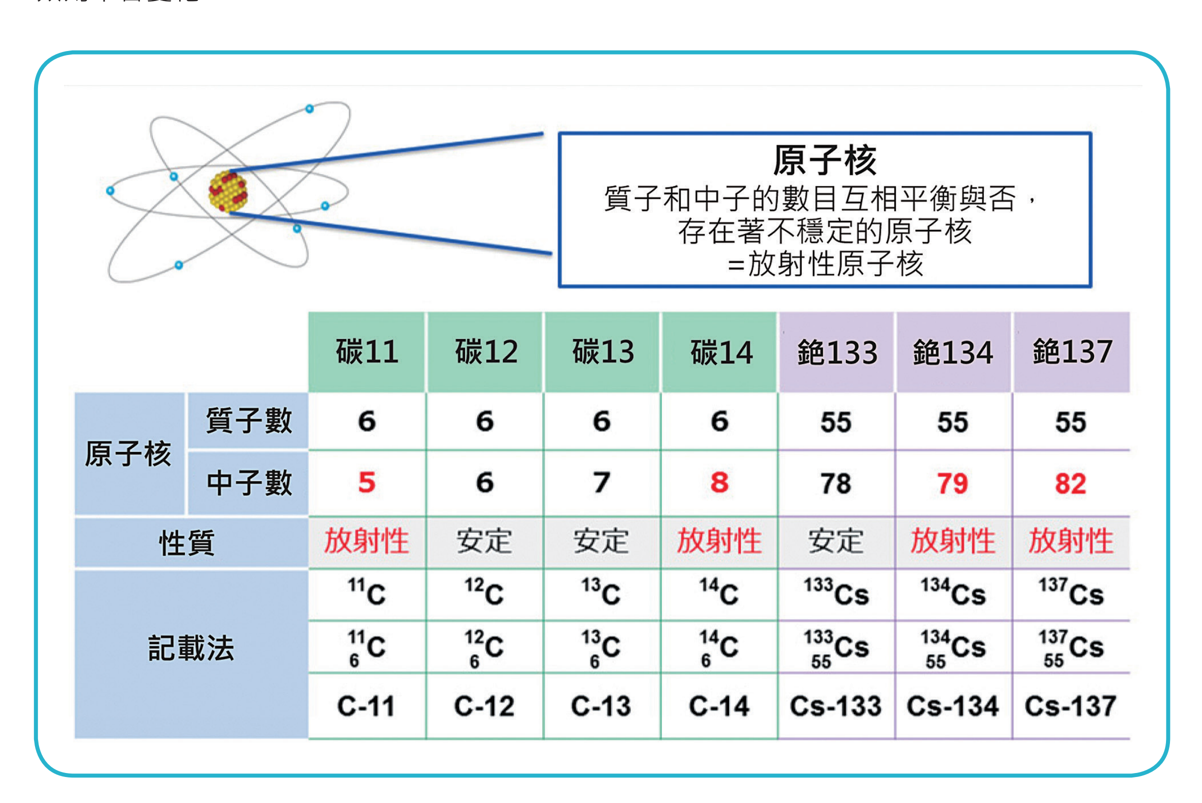
中子數不相同，稱為「同位素」，例如碳 11、碳 12、碳 13、碳 14 等都稱為「同位素」，其中自然界含量最多的是碳 12。

碳 14 是存在於自然界中一種具有放射性的物質，它藉由宇宙射線撞擊空氣中的氮 14，將其原子核中的 1 顆質子驅出並取而代之而形成，所以碳 14 的原子核中含有 6 個質子與 8 個中子。由於兩者的數目未達平衡，原子核的狀態也不穩定。

然而，當碳 14 的一個中子變成質子時，達到質子數與中子數都是 7 個的穩定狀態，這時多餘的能量就會做為電子釋出，這就是 β 射線。換句話說，釋放出 β 射線，質子的數量返回至 7 個，可以讓碳 14 達到能量穩定狀態。

Q 為什麼有些原子核穩定，有些不穩定？

A 原子核的穩定與否，取決於質子和中子的數目是否達到相互穩定平衡的比例。而放射性物質在不穩定狀態時會釋放出輻射，例如 α、β、γ 射線，在釋放出 α 或 β 射線後，原子的種類會起變化，γ 射線釋放出時，原子種類則不會變化。



		碳11	碳12	碳13	碳14	銫133	銫134	銫137
原子核	質子數	6	6	6	6	55	55	55
	中子數	5	6	7	8	78	79	82
性質		放射性	安定	安定	放射性	安定	放射性	放射性
記載法		^{11}C	^{12}C	^{13}C	^{14}C	^{133}Cs	^{134}Cs	^{137}Cs
		$^{11}_{6}C$	$^{12}_{6}C$	$^{13}_{6}C$	$^{14}_{6}C$	$^{133}_{55}Cs$	$^{134}_{55}Cs$	$^{137}_{55}Cs$
		C-11	C-12	C-13	C-14	Cs-133	Cs-134	Cs-137

原子序數（質子數）相同、中子數不同的原子核互稱為「同位素」，因此碳元素有質子數 6 個、中子數 5-8 個的同位素；銫元素則有質子數 55 個、中子數 57-96 個的同位素。

銫元素中，穩定的是中子數 78 個的銫 133（質子 55 個 + 中子 78 個 =133），其他同位素都是屬於放射性物質。核電廠發生核子事故時，鈾 235 核分裂時生成的銫 134 及銫 137 釋放至環境中，這些銫均會放出 β 射線和 γ 射線。

Q 原子核有哪些種類？

A 氫原子的原子核內，1 個質子為 H-1(氫)，1 個質子加上 1 個中子為 H-2(氘)，1 個質子加上 2 個中子為 H-3(氚)，這些同位素只有 H-3 會放出輻射。以上 3 個原子核，只有一種是具有放射性的元素，但是，鈾和鈽這兩種質子數都是很大的元素，所以它們同位素的核種很多，其中也包括穩定的非放射性核種。

自然界的放性物質大多數都是在地球誕生時就已存在，但仍有少部分放射性物質是由宇宙射線與大氣之間的相互作用而產生的，如碳 14。

同位素：質子數 (原子序) 相同中子數不同的原子核

元素	記號	質子數	同位素	
			安定	放射性
氫	H	1	H-1, H-2※	H-3※
碳	C	6	C-12, C-13	C-11, C-14,‥
鉀	K	19	K-39, K-41	K-40, K-42, ‥
鍶	Sr	38	Sr-88	Sr-89, Sr-90, ‥
碘	I	53	I-127	I-125, I-131, ‥
銫	Cs	55	Cs-133	Cs-134, Cs-137, ‥
鈾	U	92	無	U-235, U-238, ‥
鈽	Pu	94	無	Pu-238, Pu-239, ‥

※：H-2 是氘、H-3 是氚。

‥ 代表其他的放射性物質。藍色表示自然存在的放射性物質。

Q 自然與人造的放射性核種有哪些？其來源為何？

A 釷系列的釷 232、鈾系列的鈾 238、鉀 40 等半衰期很長的放射性物質，這些是由遠古時期宇宙生成，在地球誕生時就已存在；釷 232 衰變至鉛 208，鈾 238 衰變至鉛 206，在衰變過程中產生很多種放射性元素以及 α 射線、β 射線和 γ 射線。

空氣中 80% 的氮受到宇宙射線照射，發生核反應產生碳 14，碳 14 一直都存在於自然界中，並釋放出 β 射線。

在發生核子事故時，釋放的銫 134、銫 137、鍶 90、碘 131 以及鈽 239 等，屬於人造放射性核種，其中鈽 239 的半衰期非常長。

放射性物質	放出的輻射	半衰期
釷232 (Th-232)	α，γ	141億年
鈾238 (U-238)	α，γ	45億年
鉀40 (K-40)	β，γ	13億年
鈽239 (Pu-239)	α，γ	24,000年
碳14 (C-14)	β	5,730年
銫137 (Cs-137)	β，γ	30年
鍶90 (Sr-90)	β	29年
銫134 (Cs-134)	β，γ	2.1年
碘131 (I-131)	β，γ	8日
氡222 (Rn-222)	α，γ	3.8日

紅字表示人造放射性物質　α：α射線、β：β射線、γ：γ射線

本單元資料來源：日本環境省《輻射對健康影響的基礎知識，第一章：輻射基礎知識》，2016 年。



台灣核能應變與防護能力屬世界核能各國排名前段班，應給與支持與鼓勵。

何博士的日常豆知識

Q：如果核電廠失去冷卻水源而無法降溫，
會不會像日本福島一樣發生核災啊？

別擔心！日本福島核電廠會發生核災的原因之一，
就是**冷卻系統失去電力，無法發揮效果**。

而台灣核電廠的建廠高度不但都高於可能發生的海嘯高度，
且在高處都**設有生水池**，萬一有需要，也能**透過重力直接注水冷卻**，
這是台灣核電廠和日本福島核電廠最大的不同之一！

冷靜點！

要爆氣

廠址設計高度：核一廠 11.2公尺；核二廠 12公尺；核三廠 15公尺；核四廠 12公尺

生水池高度：核四廠 116公尺；核二廠 90公尺以上；核一廠 62公尺以上；核三廠 51.5公尺以上

50公尺以上

台灣核電廠已預先規劃好後備水源，
可經重力或消防車動力注入反應爐，確保核能安全。